

Anssi Romppainen

Plasmaleikkauksen tehostaminen Lean- ajattelun avulla



YAMK tutkinto

Teknologiaosaamisen joh-
tamisen koulutus

Syky 2020



KAJAANIN
AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tiivistelmä

Tekijä: Romppainen Anssi

Työn nimi: Plasmaleikkauksen tehostaminen Lean-ajattelun avulla

Tutkintonimike: Teknologiaosaamisen johtaminen, Insinööri YAMK

Asiasanat: Lean, 5S, Kaizen, Plasmaleikkaus, Virtaus

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, kuinka saisimme tehostettua Ykkösmetalli Oy:n plasmaleikkaustoimintoa Lean-ajattelun avulla. Moni mieltää Lean-käsitteen liian monimutkaiseksi, ja siksi tyrmää sen käytettävyyden. Ennakkokäsitys Leanista esimerkiksi pk-yrityksessä on huono, mutta sitä voidaan käyttää minkä tahansa alan yrityksessä tai se on yrityskoosta riippumaton. Tärkeintä on ymmärtää, kuinka sitä voi käyttää ja mihin sen työkalujen ja toimintojen muutos tähtää.

Tämä opinnäytetyö toteutettiin toiminnallisena tutkimuksena, jossa tutkittiin, työmääräimen kulkua plasmaleikkausprosessissa. Miten leikkausprosessin eri työvaiheet vaikuttavat työmääräimen virtaavuuteen ja mitä ne pitävät sisällään. Lean-ajattelun avulla jokainen vaihe prosessista analysoitiin ja näin ollen saimme paremman kokonaiskuvan leikkausprosessista. Analysoinnin avulla pysyimme kartoittamaan ne asiat, joilla on merkitystä, työmääräimen virtaavuuteen prosessissa.

Työn tuloksena saimme selville, että osa prosessin vaiheista pysyivät vakioina muutoksesta huolimatta. Opimme myös, että Lean ei anna suoria vastauksia, vaan se kertoo periaatteen millä toimia. Jokainen yritys joutuu tulkitsemaan Lean-työkalujen käytön itse sekä löytämään siten parhaat työkalut omaan käyttöönsä. Ottamalla Lean-työkalut käyttöön sekä tulkitsemalla prosessia, aikaansaadaan suuriakin muutoksia.

Opinnäytetyön avulla saimme jalkautettua Leanista kevyen toiminnan mallin plasmaleikkaukseen, jota jatkossa jalostamme lisää. Toimintojen tehostaminen jatkuu saadun tutkimustiedon pohjalta myös muihin tuotannon tiloihin. Sama metodi ei välttämättä käy kaikkialle yrityksen toimintoihin, mutta se kuuluu osana Lean-matkaan.

Abstract

Author: Romppainen Anssi

Title of the Publication: Enhancing plasma cutting with lean thinking

Degree Title: Master's Degree of Technology Competence Management, Engineer YAMK

Keywords: Lean, 5S, Kaizen, Plasma cutting, Flow

This thesis examines purpose was find out, how we can make Ykkösmetalli Oy plasma cutting more efficient using Lean thinking. Many people are preconceived of Lean and so they think that Lean is too complicated and difficult to use. Lean can use in every field of industry or medical services, it's not specialized for one branch of business, you can use it everywhere. In my interpretation of Lean philosophy, is that you understand what purpose is of Lean and how to use Lean tools and methods.

This thesis was functional research, were we investigate flow of workorder in plasma cutting proses. How different parts of proses can affect flow of workorder and what information this proses include. Every step of proses was analyzed, so that we can have better view of the hole cutting proses. Help of analyzed, we can understand better parts of plasma cutting proses, what are stable and what can be optimize.

Result in this thesis is, that some phases of proses can be adjust and others are stable. We learn that Lean does not give straight answers, it only shows the way and tools what you can use to get result what you are looking for. Different organization can use Lean its own way, because there is no one true way uses Lean tools and methods.

Help of this thesis, we did implement light version of Lean-to plasma cutting, and idea is to expand and make it deeper. In future Lean thinking and methods is to cover hole organization in daily work. Same tools and methods do not work every place, so you must take separate thinking way, to get results that you are looking for.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Lean.....	2
2.1	Leanin historia.....	2
2.2	Leanin määritelmä.....	2
2.2.1	Leanin käsitteitä.....	4
2.3	Resurssi- vastaan virtaustehokkuus	6
2.4	Prosessit virtaustehokkuudessa	8
2.5	Prosessien lait.....	9
2.6	Virtaus tehokkuudeksi	10
2.7	Lean toiminta / johtaminen	14
2.8	Lean-työkalut	15
2.8.1	5S.....	16
2.8.2	Kaizen (Modular Kaizen).....	17
3	Plasmaleikkaus	19
3.1	Plasman teoria	19
3.2	Plasmaleikkauksen periaate.....	20
3.2.1	Leikkauskaasut.....	23
3.3	Plasmaleikkauslaitteisto	24
3.3.1	Virtalähde	25
3.3.2	Ohjainyksikkö	26
3.3.3	Energiansiirtolinja	26
3.3.4	Leikkauspoltin.....	26
3.3.5	Vesileikkauspöytä	28
4	Tutkimusongelma.....	29
5	Tutkimussuunnitelma ja menetelmät	30
5.1	Tutkimuksen toteutustapa	30
5.2	Työmääräinen virtauksen määrittäminen.....	35
5.3	Muutos	38
5.3.1	Muutoksen toteutus ja toimivuus.....	40
6	Tulokset	44
7	Johtopäätökset.....	52

Lähteet.....54

Liitteet

Liite 1. Leikkaamon lähtötilanne layout.

Liite 2. Leikkaamon muutettu layout.

Symboliluettelo

Bulk: Massatuotettu tuote

G-koodi: NC/CNC-koneiden ohjelmointikieli koneistuksessa

Kaizen: Jatkujan parantamisen metodi

KL: Kulutusteräs

Lean: Toyotan kehittämä tuotannon ylläpito/kehitysjärjestelmä

Niche: Räätelöity/yksilöitytuote

PDCA: Plan-Do-Check-Act

PL: Konepajateollisuudessa käytetty materiaali paksuus yksikkö

Plasma: Aineiden neljäs tunnettu olomuoto

S355: Yleisin rakenneteräksen laatu

5S: Leanin työkalu (sortteeraus, systematisointi, siivous, standardisointi ja seuranta)

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, miten voisimme tehostaa Ykkösmetalli Oy:n plasmaleikkauksen toimintaa Lean-ajattelun avulla, jonka työkaluina toimivat 5S ja Kaizen. Plasmaleikkaus on yrityksen toiminnan kannalta yksi tärkeimmistä toiminnoista. Sen mahdollinen tehostaminen olisi yrityksen kannalta merkittävä asia, sillä leikkauksen ongelmat heijastuvat hyvinkin nopeasti muihin tuotannon toimintoihin.

Hienosädeplasmaleikkaus on hyvin tehokas tapa leikata niukkahiilisiä ja austeniittisiä teräksiä. Plasmaleikkaus kehitettiin alun perin austeniittisten terästen RST ja HST (ruostumaton- ja haponkestäväteräs, jotka sisältävät kromia enemmän kuin 10 %) leikkaukseen, johon perinteinen kaasuleikkaus ei soveltunut.

Lean-ajattelu on ollut maailmalla erilaisten yritysten käytössä jo hyvin pitkän aikaa, mutta vasta 2010-luvulla se on saanut enemmän jalansijaa eurooppalaisessa teollisuustuotannossa. Aiheesta on kirjoitettu monia kirjoja ja jokainen niistä tulkitsee Leania eri tavoin. Näin ollen tämäkin tutkimus ottaa siihen yhden näkökulman tuotantotekniikan suunnasta. 5S on yksi Leanin tunnetuimmista työkaluista, mutta se mielletään hyvin monesti pelkäksi siivousprojektiksi, jota se ei ole. 5S auttaa organisoimaan ja järjestelemään tiloja toimivammiksi, jolloin hukkaa saadaan minimoitua. Hukan minimointi on yksi Lean-ajattelun päätavoite. Leanin avulla pyritään myös parantamaan asiakastyytyvyyttä, laatua, pienentämään toiminnan kustannuksia sekä lyhentämään tuotannon läpimenoaikoja.

2 Lean

Mitä Lean on? Tähän kysymykseen tuskin kukaan voi antaa täysin yksiselitteistä ja täsmällistä vastausta. Lean voidaan ymmärtää organisaatioissa eri tavoilla ja se mielletään käytettäväksi eri lailla. Tässä opinnäytetyössä Leanin ja sen työkalujen avulla on tarkoitus saada tehostettua yrityksen plasmaleikkauksen toimintoja sekä jalkautettua Lean-ajattelu tulevaisuudessa kattamaan koko yrityksen tuotanto.

2.1 Leanin historia

Lean-tuotannon ohjauksen historian juuret ulottuvat Japaniin, jossa se syntyi Toyota Motor Corporationin aikaansaannoksena. Toyotan perusti vuonna 1937 Kiichiro Toyota. Toyotan liikeidea oli valmistaa autoja kotimaan markkinoille. Kiichiron isä, Sakichi Toyota oli yrittäjä, joka kehitti toiminnan tehokkuuteen liittyviä perusajatuksia, jotka tulivat myöhemmin tärkeäksi osaksi Toyotan tuotantoa. Sakichi kehitti järjestelmän kudontakoneeseen, joka pysäytti koko tuotannon automaattisesti, jos ”kudontaan” tuli virhe. Tämän automaattisen pysäytyksen ansiosta ”kudonnan” virhe voitiin paikallistaa heti. Ongelma pyrittiin ratkaisemaan paikan päällä, ja saamaan ongelmaan sellainen korjaus, ettei sitä enää tulisi samassa paikassa. Tämä käsite sai myöhemmin nimen Jidoka, joka karkeasti tarkoittaa automaattista virheeseen reagointia. Jidoka on yksi Toyotan tuotantojärjestelmän (Toyota production system eli TPS) peruspilareista. Toinen Toyotan peruspilari on just-in-time filosofia. Se tarkoittaa tuotannon virtausta, josta on karsittu kaikki turhat varastot pois. Näin ollen, tuote virtaa katkottomasti koko tuotantoketjun läpi, luoden mahdollisimman suuren tuotteen arvonnousun asiakkaalle. Tätä tuotanto tyyppiä kutsutaan virtaustehokkaaksi tuotannoksi. (Modic & Åhlström 2018, 70.)

2.2 Leanin määritelmä

Lean-ajattelu voidaan määritellä prosessijohtamisen malliksi, jonka veturina toimii asiakaslähtöinen ajattelumalli. Leanin toiminta perustuu hukkan poistamiseen ja tuotteen tai palvelun arvonnousuun mahdollisimman tehokkaalla virtauksella. Leanin tavoitteet keskittyvät kokonaisuuden optimointiin, ei niinkään yksittäisten asioiden tehostamiseen tai tarkasteluun. (Sixsigma.)

Leanin tarkoitus on standardisoida työvaiheita, parantaa työskentelyolosuhteita, lyhentää tuotannon läpimenoaikaa sekä tuottaa asiakkaan vaatimaa arvoa tuotteelle. Arvoa tuotetaan sen verran kuin asiakas sitä vaatii, sillä arvon yli- tai alisuoritus lisää turhaa hukkaa. (Sixsigma.) Hukan seitsemän kategoriala tuotantoteollisuudessa ovat ylituotanto, varastot, odottaminen, viallinen tuote, yliprosessointi, liike ja virhetyö (Sixsigma).

Lean-johtaminen vaatii oman johtamistavan, sillä johtaminen siirtyy enemmän tilannejohtamiseen. Tässä johtamismallissa johtajan täytyy olla sitoutunut Leanin periaatteiden noudattamiseen ja sen jalkauttamiseen työntekijöille sekä yritykseen. Päämäärä Lean-johtamisessa on virtauksen luominen ja sen ylläpitäminen. (Sixsigma.) Kuvitellaan virtauksen ongelmakohta esimerkiksi villalankarullaksi. Olemme tökanneet siihen yhden puikon, joka on ollut sen hetken ratkaisu ongelmaan. Niin monta puikkoa kuin voimme työntää villalankarullaan, niin monta yhden ongelman eri ratkaisua voimme saada aikaiseksi. Tämä on Lean-ajattelun yksi haaste, miten saada ihmiset näkemään ratkaisu aina uudelta suunnalta.

Leanin avulla ei pelkästään sammuteta yrityksen tulipaloja, vaan pyritään pääsemään syyntymissyihin ja poistamaan nämä syyt tuotannosta. Näin tuotanto pääsee toimimaan katkottomasti. Suorituskyvyn parantamiseen tarvitaan tietoa systeemin ulkopuolelta. (Torkkola 2015, 19.)

Asioiden visuaalinen esittäminen on yksi Lean-ajattelun peruseriaatteista. Tavoitteena on luoda johtamisjärjestelmä, jossa virtaavan ja tehokkaan työn sujumisen kannalta olennainen informaatio on helposti kaikkien nähtävillä. Tällä esimerkiksi eliminoidaan henkilöstön vaihtuvuuden aiheuttaman vaihtelun vaikutuksia. (Torkkola 2015, 48.) Vaihtelun takia resurssi- ja virtaustehokkuutta on vaikeaa ja ellei jopa mahdoton rakentaa samaan organisaatioon. Joudumme luopumaan toisesta, jos haluamme saada toisen nousemaan. (Torkkola 2015, 128.)

Oppivassa organisaatiossa jokainen on sitoutunut parantamaan ja huolehtimaan laadusta. Työnjohtajan rooli muuttuu Lean-mallissa yhä enemmän töiden johtamisesta ihmisten johtamiseen, jolloin asiantuntijan rooli selkeytyy asioiden ja esineiden hallitsemiseen. (Torkkola 2015, 113.)

2.2.1 Leanin käsitteitä

Asiakaslähtöisyys

Tuotteen tai palvelun arvon määrittelee asiakas, johon toimittaja pyrkii omalla toiminnallaan pääsemään. Asiakas on kaiken toiminnan keskipisteenä ja arvoa tuotetaan sen verran kuin asiakas on sitä vailla. (Sixsigma.)

Laatu

Tuotteen laatua kuvataan hyvin monesti jonkin standardin perustuvaan ohjeistukseen, esimerkiksi ISO 9001 tai ISO 12001.

Läpimenoaika

Prosessin läpimenoaika riippuu virtausyksiköiden määrästä sekä jaksonajasta, joka kuluu yhden virtausyksikön käsittelyyn (Modic & Åhlström 2018, 34).

Virtaustehokkuus

Virtaustehokkuus kuvaa kuinka tehokkaasti virtausyksikkö kulkee prosessin läpi arvon noustessa. (Modic & Åhlström 2018, 26).

Hukka

Hukka käsitetään tuotteen tai palvelun tekemiseksi, joka ei tuota sille arvoa. Hukka luokitellaan tuotannossa seuraaviin seitsemään kategoriaan (Torkkola 2015, 25.):

- ylituotanto: On tuotannon pahin muoto, koska se aiheuttaa muita hukkan muotoja. Tehdään liian paljon, lisätään arvoa, joka ei hyödytä tuottajaa tai asiakasta. (Torkkola 2015, 26.)
- varastot: Varastot muodostavat aina pullonkauloja tuotantoon ja lisäävät tuotteen arvoa tuottamatonta aikaa. (Torkkola 2015, 26).
- odottaminen: Odottaminen lisää prosessin jaksonaikaa, joka puolestaan heikentää virtausta. (Torkkola 2015, 26).
- kuljetukset: Tavaroiden ylimääräiset kuljetukset eri tuotannonvaiheiden välillä on pyrittävä välttämään. (Torkkola 2015, 26).

- yliprosessointi: Tuotetaan tuotteelle tai palvelulle liiallista arvoa, josta kumpikaan ei saa hyötyä. Tämä kuluttaa paljon tuotantoa ja lisää turhia liikkeitä sekä virhetyön mahdollisuutta. (Torkkola 2015, 26.)
- liike: Kaikki ylimääräinen liike on hukkaa, tuotanto pitää optimoida mahdollisimman virtaavaksi työvaiheesta toiseen, milloin liikkeiden määrä vähenee. (Torkkola 2015, 26).
- virhetyö: Tuote tai palvelu palautuu takaisin tehtäväksi, jolloin siihen joudutaan uhraamaan tuotannon kapasiteettia kahteen kertaan. Tämä lisää toisten tuotteiden odottamista. (Torkkola 2015, 26.)

Vaihtelu

Vaihtelu aiheuttaa tuotantoon virheitä, jotka puolestaan vaikuttavat suoraan tuotteen/palvelun laatuun. Vaihtelun juurisyitä ovat hukka ja ylikuormitus. Ensimmäisenä täytyy etsiä tuotannon pullonkaula. Pullonkauloja poistamalla voidaan päästä hukkien eliminointiin (Torkkola 2015, 25.)

Pullonkaula

Jos jonkin prosessin eteen alkaa syntyä jonoa, seuraa tästä se, että läpimenoaika alkaa kasvamaan ja virtaus heikkenee. Tätä ilmiötä kutsutaan pullonkaulaksi, ja sitä ilmenee hyvin yleisesti tehdastuotannossa. (Sixsigma.)

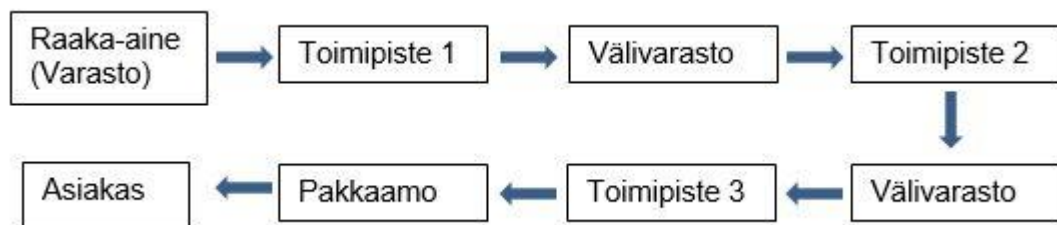
Lait

Prosessien noudattamat lait ovat päteviä, ja niitä voidaan perustella matemaattisesti. Lean tukeutuu pitkälti kolmeen lakiin, jotka auttavat ymmärtämään virtaustehokkuuden toiminnan (Modic & Åhlström 2018, 31.)

2.3 Resurssi- vastaan virtaustehokkuus

Yritykset voivat tehdä tuotetta tai palvelua resurssi- tai virtaustehokkaasti. Hyvin moni yritys toimii resurssitehokkaasti, joka on ollut teollisuuden perinteinen muoto. Resurssitehokkuudella tarkoitetaan resurssien mahdollisimman tehokasta hyödyntämistä. (Modic & Åhlström 2018, 9.)

Resurssitehokas toiminto jakautuu toimipisteisiin ja varastoihin. Siinä tuote valmistuu sykleittäin. Jokaisessa toimintopisteessä, jossa tuote saa lisää arvoa on koneen käyttöaika maksimaalinen. Arvon lisäyksen jälkeen tuote siirtyy seuraavaan pisteeseen tai välivarastoon. Näin tuote kiertää varastosta/toimipisteestä toiseen, kunnes se on valmis lähetettäväksi asiakkaalle. Asiakas voi olla yrityksen sisäinen tai ulkoinen tekijä. Alla oleva kuva 1 havainnollistaa resurssitehokasta toimintaa.



Kuva 1. Resurssitehokas toiminta. (Modic & Åhlström 2018, 10).

Resurssitehokkaassa toiminnassa jokaista toimipistettä pyritään käyttämään mahdollisimman maksimaalisen työajan, jolloin toiminto vaatii varaston. Varaston avulla saadaan varattua työstettäviä aihioita niin, että kone pysyy toiminnassa koko ajan. Tämän toimintomallin tehokkuutta voidaan mitata: kuinka hyvin resursseja käytetään suhteessa tiettyyn ajanjaksoon. (Modic & Åhlström 2018, 10).

Resurssitehokkuuden kaava (kaava 1.) on seuraavaa muotoa.

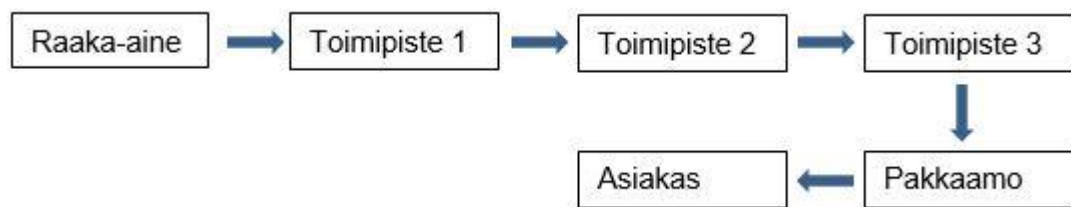
$$\text{Resurssitehokkuus} = \frac{\Sigma \text{prosessinkäyttöaika}}{\text{tarkastelujakson aika}}$$

Kaava 1. Resurssitehokkuus. (Modic & Åhlström 2018, 10).

Otetaan tarkasteluun toimipiste 1, jossa kone työstää tuotetta maksimaalisen 6 tunnin ajan, joka on sitä valvojan työntekijän työpäivän pituus. Tällöin koneen resurssitehokkuus vuorokaudessa on 6 tuntia / 24 tuntia = 25 %. Toimipisteen tehokkuutta voidaan lisätä vain nostamalla sen vuorokautista käyttöastetta, eli kone tarvitsisi toisen valvojan, jolloin

vuorokautinen resurssitehokkuus olisi 12 tuntia / 24 tuntia = 50 %. Yhden tuotteen teko-aika jokaisella toimipisteellä olisi 1 tunti, näin ollen tuotteen vaatima läpimenoaika ilman varastoinnissa olevia aikoja olisi 3 tuntia. Jotta tuote saadaan vielä asiakkaalle lähtemään, pitää sen mennä pakkaamon kautta, joka lisää kokonaisläpimenoajaksi 4 tuntiin. (Modic & Åhlström 2018, 10.)

Virtaustehokkaassa toiminnassa tuote kulkee toimintopisteestä toiseen ilman varastointia, jolloin koneen käyttöaika ei ole maksimaalinen, mutta tuotteen toimitusaika tilauksesta lähettämiseen on mahdollisimman nopea. Virtaustehokkaassa toiminnassa tuotteen arvon nousu on paljon nopeampi kuin resurssitehokkaassa toiminnassa, koska esimerkiksi tuotteen valmistamisessa ei käytetä välivarastoja (kuva 2).



Kuva 2. Virtaustehokas toiminto. (Modic & Åhlström 2018, 15).

Virtaustehokkuuden voimme laskea seuraavan kaavan (kaava 2.) avulla, jossa arvoa tuottavien prosessien summa jaettuna läpimenoajalla (Modic & Åhlström 2018, 26).

$$\text{virtaustehokkuus} = \frac{\Sigma \text{arvoa lisäävät prosessit}}{\text{löpimenoaika}}$$

Kaava 2. Virtaustehokkuus. (Modic & Åhlström 2018, 26).

Virtaustehokkaassa toiminnassa pääpaino on tuotteen virtaavuudessa eri toimipisteiden läpi. Jotta voimme mitata toiminnon virtaustehokkuutta, täytyy tuote muuttua virtausyksiköksi. Virtaustehokkuus mittaa, kuinka paljon tuote jalostuu (saa arvoa) tietyssä ajanjaksoissa. Ajanjakso alkaa tuotteen tilauksesta ja päättyy, kun tuote on toimitettu asiakkaalle. (Modic & Åhlström 2018, 15.)

Kuvan 1. tuotanto toimittaa tuotteen tilauksesta 10 vuorokaudessa asiakkaalle, näin ollen sen tuotannon virtaustehokkuus on 4 tuntia / (24 tuntia*10) = 1,67 %.

Kuvan 2. tuotanto toimittaa tuotteen tilauksesta 8 tunnissa asiakkaalle, näin ollen sen tuotannon virtaustehokkuus on 4 tuntia / 8 tuntia = 50 %.

Kuten huomaamme, molemmat mallit antavat aivan erilaisen virtaustehokkuuden. Kumpi sitten on parempi, resurssi- vai virtaustehokas toiminta. Moni ajattelee, että resurssien tehokas käyttö on ensisijaisen tärkeää, jotta saamme koneajat maksimaaliksi ja luotua asiakkaan tuotteelle maksimaalinen arvon nousu. Resurssien tehokas käyttö kostautuu virtauksen kustannuksella, jolloin tuotteen toimitusaika voi olla hyvinkin pitkä. Yritysmailmassa tuotannon pitää olla sekä resurssi- että virtaustehokasta, jolloin tuotteen arvon nousu asiakkaan näkökulmasta olisi mahdollisimman tehokasta. Näiden kahden tehokkuusmallin yhdistäminen on haasteellista, koska näissä Lean-tuotannossa pitää yhdistää jokaisen toiminnon prosessit yhdeksi ketjuksi. Nämä prosessit luovat pohjan virtaustehokkuudelle, jotka lisäävät tuotteen arvon nousua. (Modic & Åhlström 2018, 16.)

2.4 Prosessit virtaustehokkuudessa

Jotta voisimme ymmärtää virtaustehokkuutta paremmin, täytyy meidän sisäistää prosessien toiminta myös, sillä prosessit saavat aikaan virtausta. Resurssitehokkaassa toiminnassa prosessiksi määritellään hyvin monesti koneen / työntekijän tekemä ”toiminto” toimipisteellä tuotteelle, joka saa sen arvon kasvamaan. Virtaustehokkaassa toiminnassa tuotteelle tehdään täysin samat asiat kuin resurssitehokkaassa, mutta tapahtumia katsotaan aivan eri näkökulmasta, tämä tapahtuu virtausyksikön näkökulmasta. Jotta voimme sisäistää virtaustehokkuuden, täytyy prosessi aina määritellä virtausyksikön näkökulmasta. (Modic & Åhlström 2018, 20.)

Virtaustehokkaassa toiminnassa on myös tärkeää määritellä toiminnon tai järjestelmän rajat, alku- ja loppupiste. Ilman näitä emme pysty mittaamaan virtausyksikön läpimenoaika, joka on yksi virtaustehokkaan toiminnan laskemiseen tarvittavista peruskomponenteista. (Modic & Åhlström 2018, 22.)

Läpimenoaika ei kuitenkaan ole tärkein asia virtaustehokkaassa toiminnassa, sillä nopeuttamalla läpimenoaika, ei tuotteen arvo silti nouse sen enempää kuin hitaammalla läpimenoajalla. Tuotteen arvon nousu prosessissa on avainasia, johon tähdätään aina. Tuotteet saavat hyvin harvoin arvon nousua varastoissa tai puskureissa, koska nämä ovat arvoa tuottamattomia prosesseja. (Modic & Åhlström 2018, 23.)

Monet organisaatiot koostuvat eri prosesseista, on osto-, myynti-, hankinta-, huolto-, valmistusprosessit ja niin edelleen. Se mistä kukin prosessi alkaa ja loppuu, on hyvin monesti määritelty tarkasti. Myynti saa tehtyä kaupan, johon osto reagoi tekemällä raaka-ainetilauksen, valmistukseen lähtee työmääräys tehtävästä tuotteesta. Näitä prosesseja voi olla

kymmeniä tai jopa satoja, jokainen yritys määrittelee ne itse, kuinka monta niitä on ja missä kunkin prosessin rajat ovat.

2.5 Prosessien lait

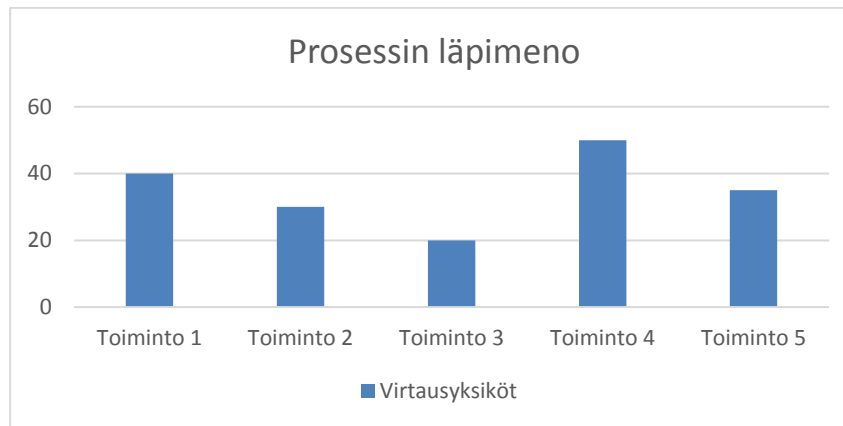
Prosessit noudattavat toiminnoissa kolmea yleispätevää lakia, jotka voidaan matemaattisesti todistaa. Jotta voimme ymmärtää prosesseja syvällisemmin, pitää lakien vaikutukset ymmärtää syvällisemmin.

Ensimmäinen laki on Littlen laki, joka kertoo kuin paljon virtausyksiköitä menee läpi tietyssä ajanjaksossa. Kaavan alkuperäinen muoto on $L = \lambda W$. L on jonossa olevien yksiköiden lukumäärää, λ on keskimääräinen saapumisnopeus jonoon aikayksikössä ja W on keskimääräinen jonotusaika. Nykyisin kaavasta käytetään muotoa $CT = WIP / TH$. Kaava auttaa ymmärtämään tuotannollisen toiminnon kolme pääkomponenttia, jotka ovat varastot (WIP), läpimeno TH ja jaksoaika CT. Kaavasta käytetään tuotannossa muotoa läpimenoaika = WIP / Φ , jossa Φ ilmoittaa prosessissa valmistuneiden yksiköiden määrää aikayksikössä. (Sixsigma.)

2.3 luvussa esitetty toimipiste 1 käsittelee 20 virtausyksikköä 1 tunnin aikana eli toiminnon jaksonaika on 60 minuuttia / 20 kappaletta = 3 minuuttia / kappaletta ja toiminnon virtausyksiköiden välinen poistuma prosessista on 3 minuuttia. Jos haluamme lisätä virtausyksiköiden määrää prosessissa, pitää jaksonaikaa lyhentää eli resursseja lisätä. (Modic & Åhlström 2018, 44.)

Toinen laki on pullonkaulojen laki, joita esiintyy jokaisessa prosessissa, oli kyse tuotteesta, palvelusta tai ihmisestä. Pullonkaula tulee sellaiseen prosessiin eteen, jossa virtaus on hidaskäyttö eli virtausyksikön jaksonaika on pitkä. Pullonkaulan poistaminen yhdestä paikasta saa sen yleensä siirtymään vain toiseen paikkaan. Pullonkaulat syntyvät tavallisesti vaihteluiden seurauksena, johon prosessi itsessään ei pysty vaikuttamaan. (Modic & Åhlström 2018, 44.)

Kuten huomaamme kaaviosta 1, prosessi ei pysty tuottamaan virtausyksiköitä sen enempää kuin sen vähiten virtaava toiminto. Esimerkin tapauksessa se on toiminto 3, joka on pullonkaula koko prosessin läpimenoille. Näin ollen prosessin parannukset täytyy kohdistaa toimintoon 3, sillä muiden toimintojen parannukset eivät lisää prosessin läpimenoa.



Kaavio 1. Prosessin pullonkaulat

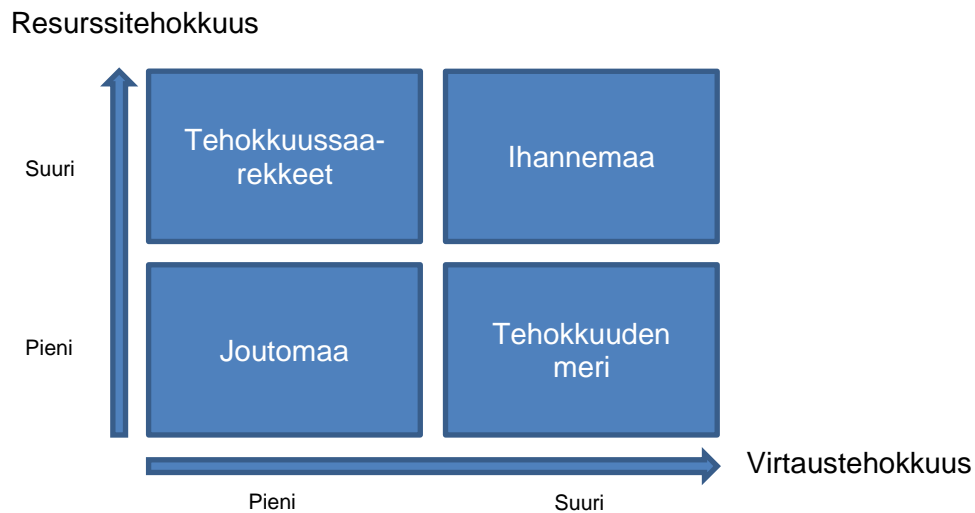
Kolmas laki on vaihtelun laki, jonka seurauksena prosessien eteen voi syntyä jonoa tai sitten prosessi odottaa virtausyksiköitä saapuvaksi edellisestä toiminnosta. Tämä saa aikaan prosessissa virtausyksiköiden jaksonajan muutoksia. Vaihtelu syntyy seuraavien tekijöiden vaikutuksesta: Resurssit, virtausyksiköiden määrä ja ulkoiset sekä sisäiset tekijät. Resursseja ovat koneet ja ihmiset. Kone voi mennä epäkuntoon tai ohjelmaa käyttävät ihmiset toimivat eri nopeuksilla. Virtausyksiköt ovat erilaisia, koska samalla koneella hoidetaan tuotteen eri revisioita, ja joiden jaksonaika on erilainen. Ulkoinen tekijä puolestaan voi olla sähkökatko ja sisäinen tekijä koneen käyttäjän sairastuminen. (Modic & Åhlström 2018, 44.)

Yhteinen tekijä lakien vaikutuksesta on, että virtausyksikön läpimenoaika kasvaa jokaisen lain seurauksena. Läpimenoajan pienentämiseen päästään yleensä lisäämällä resursseja, jolloin lakien perusteella hyvän resurssi- ja virtaustehokkuuden yhdistäminen on liki mahdotonta. (Modic & Åhlström 2018, 45.)

2.6 Virtaus tehokkuudeksi

Jotta voimme muuttaa toimintaa resurssitehokkaasta toiminnasta, missä virtaus on pieni, virtaustehokkaaksi toiminnaksi, missä resursseja käytetään virtauksen ylläpitämiseen, täytyy yrityksen toiminta sijoittaa ns. tehokkuusmatriisiin (kuva 3). Tehokkuusmatriisin

avulla yrityksen sijainti saadaan määritettyä matriisissa ja tuotannon suunta, mihin halutaan siirtyä, voidaan määrittellä. Tehokkuusmatriisissa saadaan määritettyä yrityksen sijainti ja tuotannon suunta, mihin halutaan siirtyä.



Kuva 3. Tehokkuusmatriisi. (Modic & Åhlström 2018, 101).

Jotta voimme ymmärtää mihin sijoitumme matriisissa, tulee meidän tietää mitä eri solut toiminnoiltaan tarkoittavat.

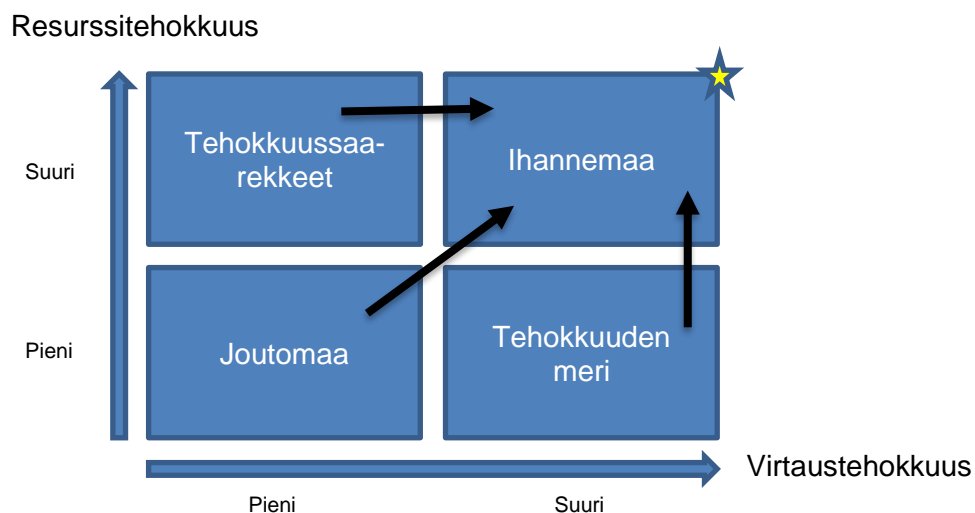
Tehokkuussaa-rekkeisiin sijoittunut yrityksen toiminta perustuu hyvin optimoituihin osiin, jotka tuottavat omaa "tuotettaan" tilauksien mukaan. Tässä toiminnassa resurssit ovat tehokkaassa käytössä, mutta virtaus on hyvin pientä. "Tuotteet" ovat suurimman osan ajastaan varastoissa ja tuotteen arvon nousu tapahtuu sykleissä. Tässä toimintamallissa optimoidut solut eivät näe toisten solujen toimintaa, vaan keskittyvät vain oman toiminnan ylläpitoon (Modic & Åhlström 2018, 101.)

Tehokkuuden meren soluun sijoittunut yritys toiminta perustuu suureen virtaustehokkuuteen, jossa tuotteen arvon nousu on nopeaa ja resurssit kohdennetaan virtaukseen. Resurssit ovat käytössä alle 50 % koko ajan, koska vaihtelun takia pitää olla vapaata kapasiteettiä käytettävissä, että virtaus pystytään pitämään yllä. Jokaisen tämän solun yksittäinen tekijä/kone on tietoinen, mitä toisessa paikassa tapahtuu, jotta virtaus pysyy yllä. (Modic & Åhlström 2018, 101.)

Joutomaa on nimensä mukainen paikka. Siellä sijaitsevat aloittavat yritykset tai yritykset, joilta puuttuu strateginen suunnitelma. Ne eivät osaa hyödyntää resursseja, ja virtauskin on heikkoa. Tuotteen arvon nousu hidasta ja toiminta on epäloogista. (Modic & Åhlström 2018, 102.)

Ihannemaa on nimensä mukaisesti paikka, johon yritys haluaa sijoittua matriisissa. Virtaus on suurta, ja resurssitkin ovat tehokkaassa käytössä. Virtaukseen ja tehokkuuteen vaikuttavien lakien perusteella, tänne pääseminen on hyvin vaikeaa, mutta tavoite täytyy asettaa korkealle. (Modic & Åhlström 2018, 102.)

Lähtökohtaisesti yrityksen liiketoimintastrategia määrittelee, mihin lohkoon yritys sijoittuu tehokkuusmatriisissa. Perustuuko toiminta massatuotteiden tekoon (bulk) vai olemmeiko erikoistuneet räätälöityihin tuotteisiin (niche). Bulk-tuotanto tarkoittaa aina melkein resurssitehokasta toimintaa, jossa virtausyksikön virtaus on pientä, mutta resurssitehokasta toimintaa voi aina kehittää virtaavammaksi. Niche-tuotanto puolestaan tähtää asiakkaan nopeaan ja laadukkaaseen palveluun, missä virtaustehokkuus on suurta, mutta resursseja lepää reservissä mahdollisten vaihteluiden varalle. Nichessä yksittäinen tuote valmistetaan asiakkaan tarpeiden mukaan ja joka on laadullisesti huippuluokkaa. Jokaisen yrityksen on kuitenkin tähdättävä toiminnassaan tähteen, jossa resurssi- ja virtaustehokkuus olisivat maksimaalisia, kuten näemme seuraavasta kuvasta 4.



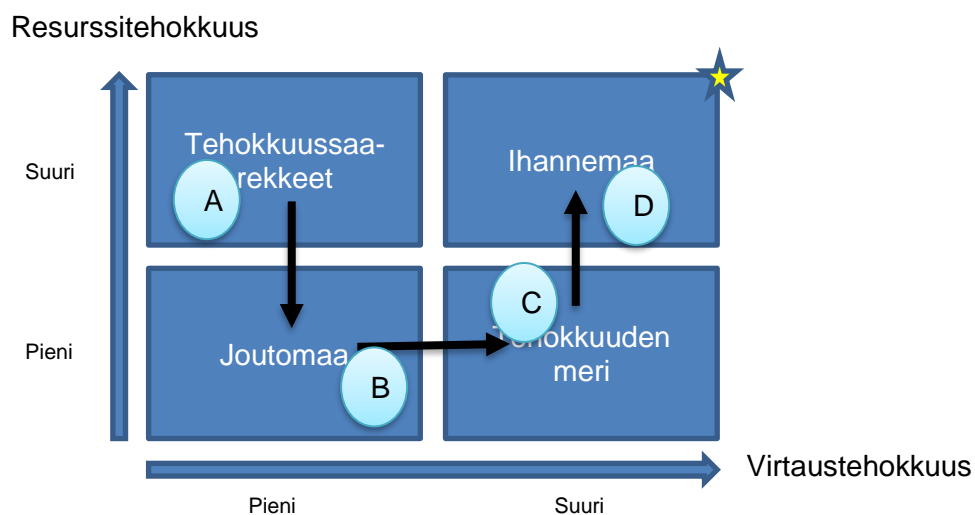
Kuva 4. Tehokkuusmatriisi tähti. (Modic & Åhlström 2018, 102).

Liiketoimintastrategisessa suunnitelmassa yritys määrittelee, miten se siirtyy esimerkiksi joutomaalta ihannemaata kohti. Strategisen suunnitelman pitäisi esittää selkeästi, miten yritys siirtyy pisteestä A pisteeseen B. Pelkkä toimintojen tehostamisen kirjaus strategiaan ei kerro sitä, miten ne saavutetaan. Kirjauksessa tulee olla esitettyinä keinot ja valinnat, joilla päämäärä saavutetaan. Strategisessa suunnitelmassa tulee myös ennakoida tulevaisuuden tapahtumat, jotta tulevat valinnat palvelisivat mahdollisimman hyvin yrityksen toimintojen muutosta. Yrityksen menestyminen on paljon kiinni näistä valinnoista, sillä

pelkkä toiminnan muutos ei välttämättä pitkässä juoksussa kannata pitkälle. (Moisanen K. 2018).

Liiketoimintastrategian pohjalta saamme luotua toimintamallin, joka toteuttaa määrätyt tavoitteet. Tämä toimintastrategia löytyy jokaisesta yrityksestä, oli se laadittu tai ei. Se vastaa kysymykseen, miten aiomme tuottaa asiakkaalle arvoa omalla tuotteellamme tai palvelullamme. Kun olemme laatineet tai rakentaneet oman toimintastrategian, olemme luoneet samalla toiminnalle operatiiviset tavoitteet. Näiden operatiivisten tavoitteiden avulla pystymme jakamaan toimintaamme osiin, jotka ovat Lean-ajattelun kannalta olennaisia. (Modic & Åhlström 2018, 109.)

Tehokkuusmatriisin avulla voimme tehostaa toimintoja lohko kerrallaan. Näistä yksi on Toyotan U:n muotoinen kehityskaari (kuva 5), joka on Lean-ilmion taustalla kehittynyt konsepti TPS:n kanssa. (Modic & Åhlström 2018, 123).



Kuva 5. Tehokkuusmatriisin kehityskaari. (Modic & Åhlström 2018, 123).

Yritys kuvittelee toimintojensa olevansa tehokkuusaarekkeissa (tilanne A). Resurssit ovat kyllä kovassa käytössä, mutta virtaus on hyvin heikko. Tämä voi johtua monestakin syystä, mutta todennäköisesti virtauksen esteenä on monia päällekkäisyyksiä, jotka hidastavat virtausta. (Modic & Åhlström 2018, 121.)

Todellinen tilanne on, että toiminnot ovat joutomaalla (tilanne B), resurssien todellinen käyttö on hyvin pientä ja virtauskin on heikko. Ajatellut tehokkaat resurssit ovatkin vain turhia työvaiheita, jotka syövät resursseja ja näin ollen heikentävät virtausta. (Modic & Åhlström 2018, 122.)

Kun todellinen lähtötilanne on saatu kartoitettua matriisiin, on yrityksen helpompi lähteä tehostamaan toimintojaan. Jotta toimintoja saadaan virtaustehokkaammiksi, on työvaiheet tunnistettava paremmin ja luoda prosessista parempi kokonaiskuva. Tämä auttaa pullonkaulojen tunnistamisissa sekä havaitsemaan muut virtausta heikentävät toiminnot. Turhien työvaiheiden poisto sekä yhdistäminen parantavat arvon tuottoa. Nämä korjaukset parantavat virtausta, ja toiminnot pääsevät siirtymään tehokkuudenmerelle (tilanne C). (Modic & Åhlström 2018, 122.)

Jotta pääsemme ihannemaahan (tilanne D), on täytynyt vakioida ja dokumentoida käytettävät työvaiheet hyvin. Resurssitehokkuutta voidaan kasvattaa vaiheittain ilman, että virtaustehokkuus kärsii. Työn tekeminen vakiomallin mukaan karsii turhia vaiheita, ja tekijöille tulee rutiini itse tekemiseen. Kuten aikaisemmin on todettu, resurssitehokkuus ei voi missään vaiheessa olla 100 %. Aina täytyy olla vapaata resurssia taustalla mahdollisen vaihtelun varalle. (Modic & Åhlström 2018, 123.)

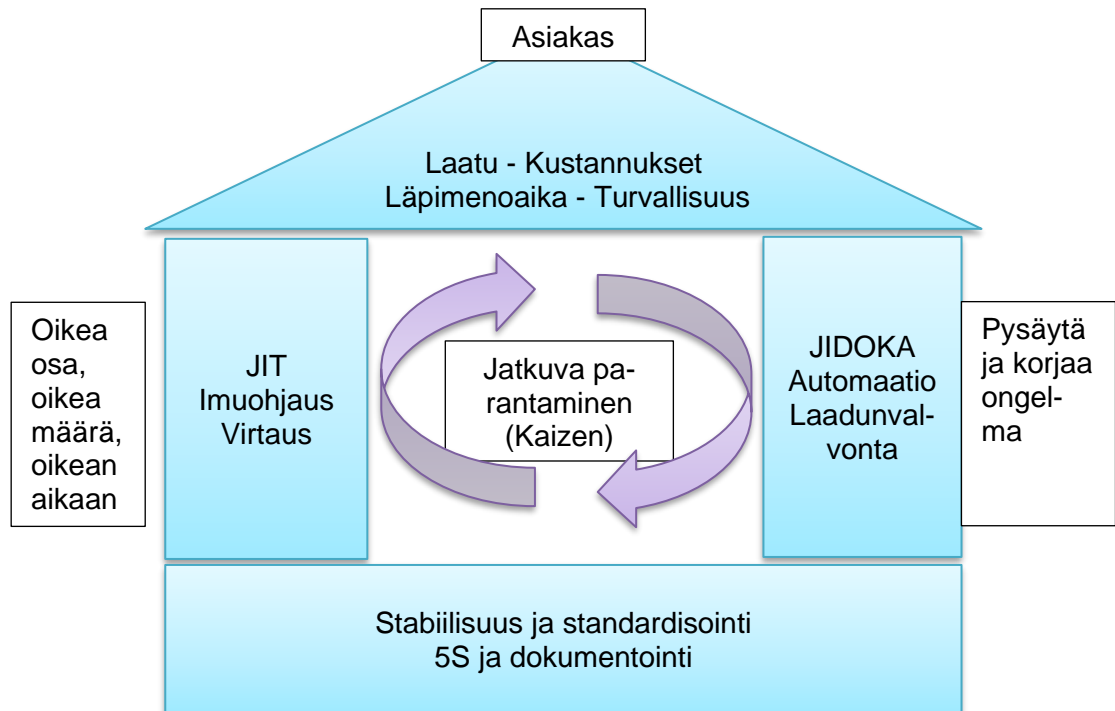
2.7 Lean toiminta / johtaminen

Kuten kappaleessa 2.5 totesin, Lean-johtamisen mallin sisäistäminen on lähdettävä yrityksen ylimmän johdon teoista, koska Lean määritellään jo strategisessa suunnittelussa. Lean-johtamiseen ei ole yhtä tiettyä mallia, jolla sitä lähdetään tekemään. Lean toteutuu jokaisessa yrityksessä omalla tavallaan. Se on täysin riippuvainen siitä, kuinka johtamista ajetaan sisään yritykseen ja millaiset arvot sille asetetaan.

Lean pitää ajatella kokonaisena järjestelmänä, joka ulottuu ylimmästä yritysjohdosta varaston pimeimpään nurkkaan. Jos Toyotalla on mennyt Leanin kehittämiseen ja sen avulla parantamiseen (kehittymiseen) jo 100 vuotta, ei sen ajaminen uuteen yritykseen onnistu vuodessa tai kahdessa, jos vuosikymmenessäkään. Lean on jatkuvaa kehittymistä, johon kaikki yrityksen tekijät ovat sitoutuneet. Tällöin yritys voi kasvaa oppivaksi organisaatioksi, jota Lean-johtaminen on. (Liker 2006, 7).

Toyotan tuotantojärjestelmä (TPS) on Lean-tuotannon lähestymistapa, jonka avulla pyritään saamaan ymmärrystä, mitä kaikkea Lean pitää sisällään. TPS:ssä on tärkeää ymmärtää kaksi tärkeää periaatetta: Just-in-time (JIT) ja Jidoka. Ne kuvataan TPS-talomallissa talon pilareiksi (kuva 6). *Just-in-time* periaate tarkoittaa virtauksen luomista ja arvon lisääystä. JIT:ssä arvoa luodaan vain sen verran kuin asiakas sitä vaatii. TPS-talomallissa katto toimii laadun, kustannuksien, läpimenon ja työturvallisuuden elementtinä. Talomal-

linperustuksiin kuuluvat stabiilisuus ja standardisointi, 5S ja dokumentointi. Talomallin lähtökohta on asiakkaan saama arvo tuotteesta. Mallin sisällä pyörii jatkuvan parantamisen metodi *Kaizen*. Kaikki tämä pyrkii hukan eliminointiin, jolloin virtaus saadaan mahdollisimman tehokkaaksi. (Liker 2006, 23.)



Kuva 6. TPS talomalli. (Liker 2006, 33).

Kuten TPS:n talomallista näemme, pohjaelementit ja seinät luovat tukevan ja vakaan rakenteen TPS:n toimintaan. Näistä tärkeimmät ovat töiden ja tavaroiden standardisointi ja dokumentointi, joiden avulla saamme luotua vakaita sekä toistettavia menetelmiä. Ne edesauttavat virtauksen ja imuohjauksen syntymistä. 5S on yksi työkalu edellä mainittujen asioiden saattamiseen JIT-toiminnan onnistumiseksi. (Liker 2006, 38.)

2.8 Lean-työkalut

Lean itsessään ei ole työkalu toimintojen ja / tai prosessien virtaustehokkuuden parantamiseen, vaan sen avulla määritellään ongelmat ja pullonkaulat, mitkä ovat virtaustehokkaan toiminnan esteenä. Näitä esteitä tarkastellaan ja analysoidaan erilaisten apuvälineiden avulla ja nämä ovat keinoja toteuttaa Lean. Ensimmäiseksi tarkastelevaksi työkaluksi

otan Toyotan kehittämän 5S-työkalun, joka on osa Toyotan tuotantojärjestelmää (TPS:ää). 5S on standardisoitu/(vakioitu) ISO 9001:2015 standardiin, jota käyttää moni yritys. Toinen tarkasteltava Lean-työkalu on *Kaizen*, eli jatkuvan parantamisen metodi. Kuten aikaisemmin luvussa 2.6 kävimme läpi, vain jatkuvan parantamisen avulla yritys voi kehittää virtaustaan ja saada hukkaansa pienennettyä. (Modic & Åhlström 2018, 78.)

2.8.1 5S

5S tulee alkujaan viidestä japanin sanasta seiri, seiton, seiso, seiketsu ja shitsuke, joiden suomenkieliset vastikkeet ovat sortteeraus, systematisointi, siivous, standardisointi ja seuranta. Seuraava taulukko (taulukko 1) selkeyttää, mitä kussakin vaiheessa tehdään.

Sortteeraus (lajittelu)	Yrityksen tilat, varastot, toimipisteiden työkalut ja materiaalit käydään lävitse. Tarpeeton materiaali ja työkalut siirretään pisteistä pois, ja jäävät työkalut ja materiaali lajitellaan käytön mukaan. Paljon käytössä olevat työkalut ja materiaali sijoitetaan pisteen lähelle ja vähemmän käytöllä olevat kauemmaksi. Tämän avulla poistetaan hukkaa ja saadaan tilat tehokkaampaan käyttöön. (Dokumentoida alkutilanne, valokuva)
Systematisointi (järjestele)	Suunnitellaan toimipiste ja määritellään jokaiselle materiaalille ja työkalulle oma paikka. Minimoidaan materiaalin turha siirtely ja työvaiheita virtaavuuden kannalta. Tarkoituksena tehdä pisteestä avoin ja saada kaikki tarvittava näkyville (ei työkaluja laatikoihin tai kaappeihin).
Siivous	Pidetään yllä tilan/toimipisteen siisteyttä päivittäisen toiminnan kanssa, siisteys lisää viihtyvyyttä ja parantaa virtaavuutta. Myös siivouksen käytettävät välineet ovat 5S-profiilin kohteena.
Standardisointi	Luo tilaan / toimipisteeseen ohje, jossa materiaali ja työkalut ovat ideaalitilassa. Määritellään työvaiheet ja toimenpiteet, mitä siinä tehdään. Standardisoinnin avulla nähdään heti, jos jokin esine ei kuulu siihen tai ole omalla paikallaan. Tämän avulla esimerkiksi työntekijän vaihtuessa pisteessä, näkee toinen heti missä tarvittavat työkalut ovat ja mihin materiaali virtaa (hukka vähenee).

Seuranta	Seuranta on 5S-järjestelmän tärkeimpiä vaiheita. Tällä yllä pidetään tehtyä organisointia, ja jo tehtyjä järjestelyitä voidaan parantaa saadun palautteen avulla. Seurannan on syytä olla säännöllistä, että mahdolliset epäkohdat tulevat aikaisessa vaiheessa esille. Tästä syystä seuranta on pelkästään esimiesten ja johdon vastuulla, jotta tarvittaviin muutoksiin voidaan puuttua.
----------	--

Taulukko 1. 5S vaiheet. (Kinnunen 2019).

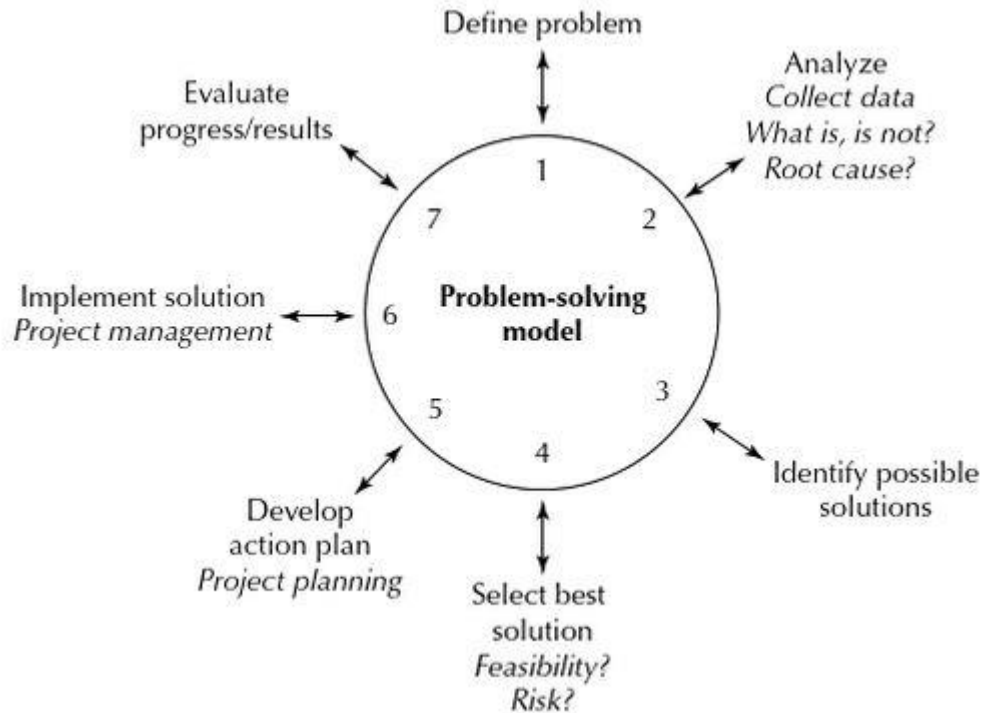
5S-järjestelmä on hyvin olennainen työkalu Lean toiminnassa, sillä sen avulla saadaan kartoitettua hyvin turhaa hukkaa tuotantotiloista, jotka estävät virtaavuutta. Heikko virtaavuus puolestaan estää tuotteen tai palvelun arvon nousua.

2.8.2 Kaizen (Modular Kaizen)

Jatkuvan parantamisen *Kaizenin* perustana toimii PDCA (Plan-Do-Check-Act), jonka avulla etsitään ratkaisuja pieniin ja isoihin ongelmiin. Kaizen-ajatteluun kuuluu, että parantaminen lähtee pienistä askelistä ja asioista, jolloin muutosvastarinta on mahdollisimman vähäistä. Kaizen-metodissa yksittäinen henkilö saa taitoja (ongelmanratkaisukykyä), joiden avulla hän pystyy toimimaan ja kehittymään pienryhmissä, joissa lopullinen ongelma ratkaisu saadaan tehtyä. (Liker 2006, 23.)

Kaizenin sisäistämisessä on lopulta kysymys halusta oppia. Tämä koskee niin johtajistoa kuin työntekijöitä. Samalla muodostuu palava halu parantaa omaa toimintaympäristöä. Esimerkiksi japanilaiset myöntävät virheensä ja haluavat oppia niistä, toisesta esimerkin tekeminen ei nähdä nöyryyttämisenä tai epäonnistumisena niin kuin länsimaalaisessa kulttuurissa asia hyvin monesti nähdään. (Liker 2006, 252.)

Kehittyneempi versio PDCA tai DMAIC (Define-Measure-Analyze-Improve-Control) metodista on Modular kaizen (kuva 7). Siinä ongelmanratkaisua lähdetään rakentamaan seitsemän askeleen mallilla. (Duffy 2013, 3).



Kuva 7. Modular Kaizen askeleet. (Duffy 2013, 4).

Modulaarisen Kaizenin perusteena toimii juurisyyn löytäminen ongelmaan, samaan tapaan kuin vaikka 5-miksi metodissa ongelman ratkaisuun.

1. askeleessa määrittelemme ja rajaamme ongelman.
2. askeleessa keräämme dataa ongelman ympäriltä ja analysoimme sitä. Rajaamme mahdollisesti ongelman ulkopuolelle kuuluvia asioita.
3. askeleessa tunnistamme ja luomme mahdollisia ratkaisuja ongelmaan.
4. askeleessa valitsemme parhaan ratkaisun ongelman ratkaisuksi, tunnistamme riskit.
5. askeleessa suunnittelemme toteutussuunnitelman.
6. askeleessa jalkautamme suunnitellun parannuksen,
7. askeleessa arvioimme parannuksen toimivuuden/tulokset.

Jos tulokset eivät ole riittävän hyviä ongelman ratkaisuksi, täytyy kierto tehdä uudestaan erilaisen lähestymisen ja näkökannan kautta. Ratkaisua voidaan kierrättää niin kauan, että riittävän hyvä ratkaisu (virtaus) ongelmaan on löydetty. (Duffy 2013, 5.)

3 Plasmaleikkaus

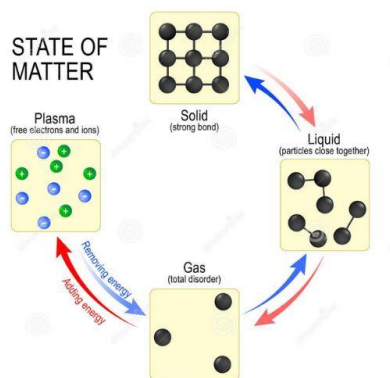
Plasmaleikkauksesta puhuttaessa tarkoitetaan sillä termistä leikkausmenetelmää, jossa leikkaus tapahtuu lämpöenergian avulla. Plasmaleikkaukseen soveltuvat sähköä johtavat metallit. Muita termisiä leikkausmenetelmiä ovat poltto-, jauhe- ja laserleikkaus. Termistä leikkausta käytetään pääasiassa metallien työstämiseen. (Ihalainen, Aaltonen, Aromäki & Sihvonen 2003, 319.)

Nykyaikaiset plasmaleikkaukoneet ovat konepajateollisuudessa CNC-ohjattuja, ja niiden poltinpäätt voivat olla pyöriteltäviä. Tällöin samalla polttimella pystytään leikkaamaan levyjä sekä viistämään ja leikkaamaan RHS-palkkien rei'itykset valmiiksi muotoon. Plasmaleikkausta pystytään käyttämään myös käsileikkauksena, jossa tosin materiaalin paksuus rajoittaa niiden käyttöä, johtuen virtayksikön koosta.

3.1 Plasman teoria

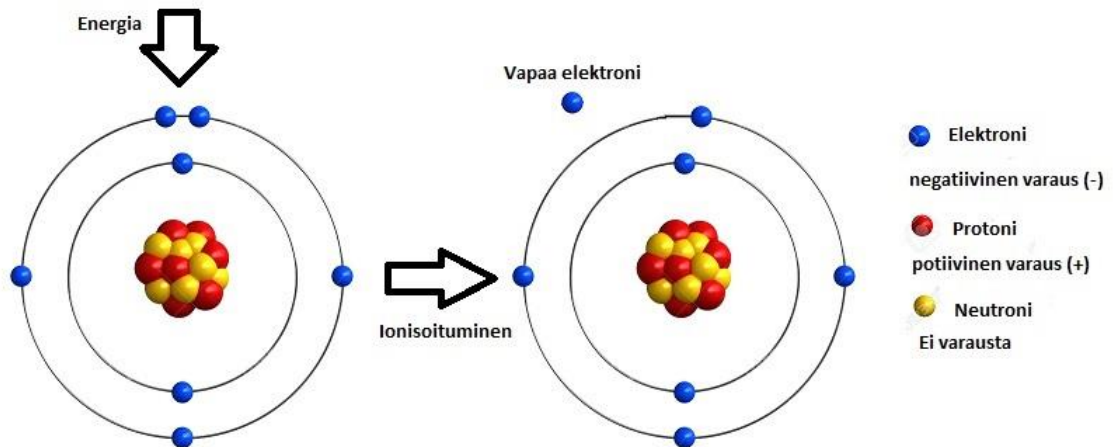
Aineiden kolme yleisintä esiintymismuotoa ovat kiinteä, neste ja kaasu. Mutta on olemassa myös aineen neljäs olomuoto, jota kutsutaan plasmaksi. Se on koko maailman-kaikkeuden aineiden yleisin esiintymisolomuoto. Plasma koostuu atomiytimistä, jotka ovat saaneet positiivisen varauksen ja elektroneista, joilla on negatiivinen varaus. (Karttunen 2004, 120.)

Aineen siirtyminen eri olomuodosta toiseen vaatii tai luovuttaa energiaa, riippuen kumpaan suuntaan olomuodon muutos on menossa (kuva 8). Plasman syntyminen vaatii hyvin paljon energiaa ja samalla aineen lämpötila nousee useisiin tuhansiin asteisiin.



Kuva 8. Aineen olomuodot. (Dreamstime 2019).

Plasma saadaan aikaiseksi lisäämällä kaasuun ulkopuolista energiaa (kuvan 9) tapauksessa typpi, jolloin se samalla lämpenee hyvin voimakkaasti. Lämpeneminen taas saa kaasun atomit värähtelemään ja luovuttamaan vapaan elektronin. Tästä syystä ydin saa positiivisen varauksen ja elektronit saavat negatiivisen varauksen, tätä ionisoitunutta kaasua kutsutaan plasmaksi.



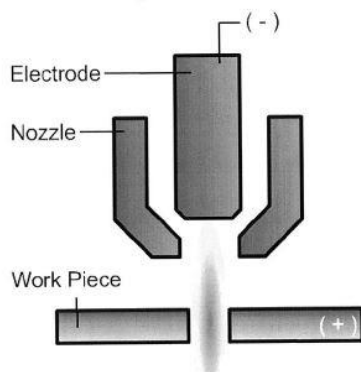
Kuva 9. Atomin ionisoituminen. (123RF 2020).

Tämä atomin osien varauksien muutos mahdollistaa hyvän sähkön johtavuuden kaasussa, jota käytetään hyväksi plasmaleikkauksessa.

3.2 Plasmaleikkauksen periaate

Plasmaleikkaus on kehitetty 1950-luvun puolessa välin, kun sen kehittäjä huomasi, kuinka kuristamalla suurinopeuksista ionisoitunutta kaasuvirtaa ja johtamalla tähän tasajännitettä, saatiin kuristettu suihku sulattamaan metallia. 1960-luvulla NC-ohjattujen koneiden yleistyessä, plasmaleikkaus sai uudet piirteet, kun leikkaus tekniikka voitiin yhdistää koneeseen ja leikkauslaatuun saatiin paremmat asetelmat. Lopullinen läpimurto plasmaleikkaukseen tapahtui 1980-luvulla, kun laitteet kehittyivät ja niiden kustannukset laskivat. Samalla ensimmäiset PC-ohjatut laitteet tulivat markkinoille, ja käyttäjät pystyivät itse luomaan NC-koneen vaatiman G-koodin. Näin syntyivät CNC-koneet, joiden avulla koneen käyttäjä pystyy itse muuttamaan ohjelmaa (G-koodia), joka on nykyaikaistenkin koneiden ohjelmoinnin pohjalla. Plasmaleikkaus löi lopullisesti läpi 1990-luvulla, kun suuritehoiset virtalähteet tulivat sekä poltintekniikka kehittyi hienosädeplasmaksi, ja kappaleiden työtarkkuus parani huomattavasti. Samalla leikkauksekustannukset alenivat. (Walsh 2005.)

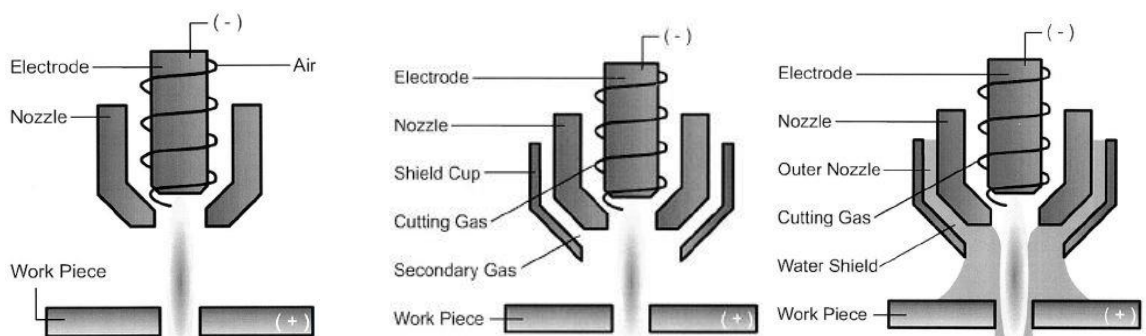
Plasmaleikkaus on sulatusleikkausmenetelmä, jossa kuuman plasman energiaa hyväksi käyttämällä saadaan aikaiseksi työstettävään kappaleeseen leikkausrailo. Plasmakaasu saadaan aikaiseksi virtalähteen avulla elektrodin ja kappaleen välille, jota kuristetaan polttinsuuttimen avulla. Sulanut metalli puhalletaan railosta pois plasmakaasun avulla (kuva 10). Kaasu voi olla typpeä, happea, argonia, paineilmaa ja/tai näiden seoksia riippuen leikattavasta materiaalista. (Ihalainen, ym. 2003, 263.)



Kuva 10. Plasmapoltin periaate. (Hypertherm).

Plasmaleikkauspolttimen tärkeimmät osat ovat elektrodi ja suutin, joissa itse plasmakaasu syntyy valokaaren avulla. Syntyneellä plasmakaasulla on leikkauksessa kaksi tehtävää: sulattaa leikattava perusaine ja poistaa sulanut materiaali leikkausrailosta. Tästä voimme päätellä, että nämä kaksi osaa ovat polttimessa eniten kuluvia osia ja niiden merkitys leikkauks jälkeen on hyvin suuri.

Leikkausprosesseja on periaatteessa kolmea eri tyyppiä: yksi kaasu-, kaksoiskaasu- ja vesivaippaleikkaus, jotka ovat esitetty seuraavassa kuvassa (kuva 11).



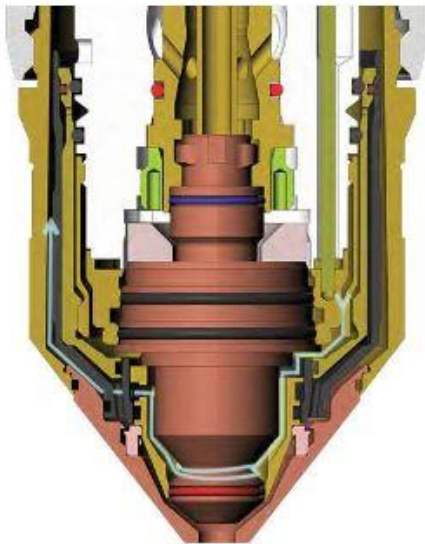
Kuva 11. Yksikaasu, kaksoiskaasu ja vesivaippa. (Hypertherm).

Yksi kaasuleikkaus on yhdellä plasmakaasulla toteutettu leikkaus, kuten nimestä voi päätellä. Leikkauskaasuna toimii hyvin monesti paineilma, jota käytetään valokaassa, plasmamana ja elektrodin ja kilven jäähdyttämiseen (Hypertherm). Käsiplasmamat ovat tyypillisesti yksikaasuleikkauspolttimella varustettuja.

Kaksoiskaasuleikkaus on kahdella kaasulla toteutettu leikkaus, jossa toisen kaasun tehtävä on muodostaa plasma ja toisen jäähdyttää kulutusosia sekä suojata leikkauskohta ulkoisilta kaasuilta (hapettumiselta). Tällä menetelmällä saadaan kulutusosille pidempi kesto ja leikattavan materiaalin leikkauspinnan laatu paranee (metallurgiailmiöt ovat paremmin hallittavissa) (Hypertherm.)

Vesivaippaleikkaus on periaatteiltaan samalainen kuin kaksoiskaasu, mutta jäähdyttäväkaasu on korvattu vedellä, jolloin polttimen osien käyttöikä paranee edelleen. Vesikaasupoltinta käytetään tyypillisesti ruostumattoman teräksen leikkaukseen (Hypertherm.)

Hienosädepoltin (kuva 12) on nykyaikana tyypillinen poltinmalli teollisuudessa. Sen toiminta perustuu kaksoiskaasuun ja poltinpää on nestejäähdytetty. Hienosädeplasmalla saavutetaan monia etuja perinteisiin polttimiin verrattuna. Kaasun kulutus vähenee, leikkaurailo kaventuu valokaaren energiatihyden ansiosta, työstettävien kappaleiden mitattarkkuus ja leikkauspinnan suoruus parantuu (Hypertherm.)



Kuva 12. Hienosädeplasmaan poltinpää. (Hypertherm).

3.2.1 Leikkauskaasut

Plasmaleikkauksissa yleisimmin käytetyt kaasut ovat typpi, argon, vety ja näiden yhdistelmät sekä paineilma ja happi. Myös hiilidioksidia käytetään tietyissä tapauksissa plasmaleikkaukseen. Paineilma on yleisin käytetty leikkauskaasu, sen saatavuuden, kustannuksien ja helppouden vuoksi. Sillä voidaan leikata kaikkia materiaaleja (teräs, RST/HST ja alumiini), mutta leikkauslaatu on huono muilla kuin teräksellä. Käyttö rajoittuu lähinnä yksikaasupolttimiin (käsipolttimet). (Hypertherm.)

Happea käytetään tyypillisesti leikkauskaasuna teräkselle, koska hiiliteräksen kanssa saadaan aikaiseksi hyvä kemiallinen reaktio ja plasmakaaren hallinta on helppoa. Teräksen leikkauksessa puhalluskaasuna käytetään paineilmaa sen kustannustehokkuuden vuoksi. (Hypertherm.)

Typpi on ollut plasmaleikkauksen lähtökohtakaasu, koska ennen laitteistojen ja kaasujen kustannuksien pienentymistä plasmaleikkausta käytettiin lähinnä austeniittisten terästen (RST/HST) ja alumiinin leikkaamiseen. (Hypertherm.)

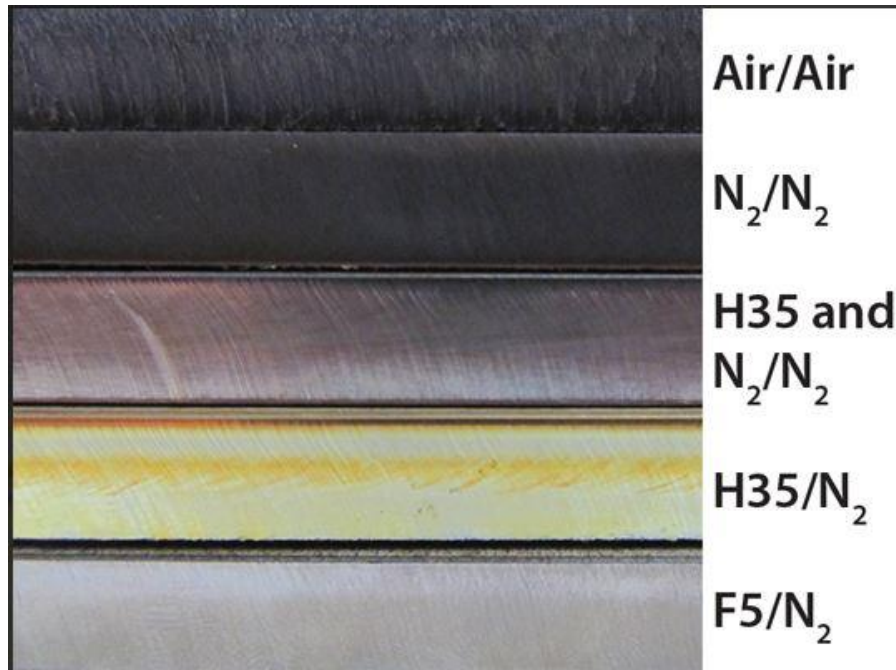
H35 (65 % argonia ja 35 % typpeä) on seoskaasu, jolla saadaan paras laadullinen leikkaus austeniittisillä teräksillä. H35:n käyttökustannukset muihin kaasuihin verrattuna ovat moninkertaiset.

Seuraava taulukko (taulukko 2) esittää tyypilliset kaksoiskaasuleikkauksen kaasujen käytöt materiaalin mukaan.

Materiaali	Plasmakaasu	Suojakaasu	Edut/haitat
Niukkahiili teräs (50-300A)	Happi	Paineilma	Paras pinnanlaatu, edullinen
Niukkahiili teräs (>50A)	Happi	Happi	Paras pinnanlaatu
Austeniittiset teräkset	Typpi	Typpi	Hyvä pinnanlaatu, edullisempi kuin H35
Austeniittiset teräkset	H35	Typpi	Paras pinnanlaatu, kallis
Kaikki metallit	Paineilma	Paineilma	Toimii kaikille metalleille, pinnan laatu vaihtelee

Taulukko 2. Kaasut plasmaleikkauksessa. (Canadianmetalworking).

Seuraavassa kuvassa (kuva 13) voimme nähdä eri kaasujen vaikutukset leikkauksen pinnanlaatuun austeniittisten teräksen tapauksessa (plasma-/suojakaasu).



Kuva 13. AISI 304L pinnan laadut. (Walsh M. 2005).

3.3 Plasmaleikkauslaitteisto

Plasmaleikkauslaitteisto koostuu virtalähteestä, ohjainyksiköstä, energian siirtolinjasta, leikkauspolttimesta ja leikkauspöydästä, joka voi olla vesi- tai ilmapöytä (kuvat 14 & 15).



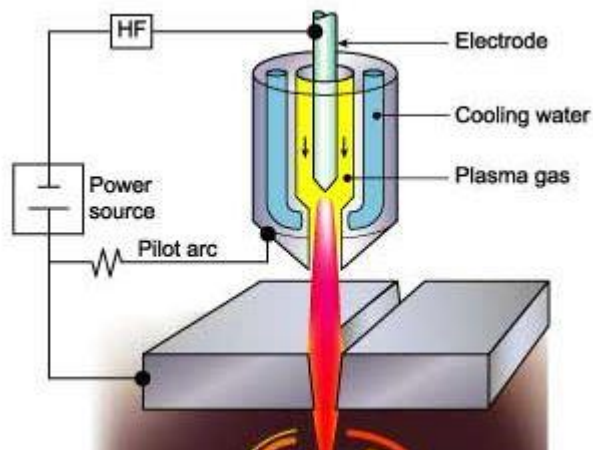
Kuva 14. Vesileikkauspöytä ja ohjainyksikkö



Kuva 15. Virtalähde Hyperterm XPR300, kompressori ja kuivain.

3.3.1 Virtalähde

Virtalähteen tarkoitus on tuottaa 3-vaiheisesta verkkojännitteestä (400 VAC) jatkuvaa ja hyvälaatuista tasajännitettä 200–400 VDC (kuva 16). Virtalähteessä on myös suurtaajuuspiiri HF (2-5MHz), jonka avulla valittu leikkauskaasu yhdessä tasajännitteen kanssa muutetaan polttimen sisällä leikkausplasmaksi (kaasu ionisoituu). Käytettävä kaarijännite riippuu leikattavan materiaalin paksuudesta ja polttimen työkalusta. Pilottiipiiriä tarvitaan plasmakaaren sytyttämiseksi polttimen sisällä, elektrodin ja suuttimen välille. Kun työstettävä kappale on tullut riittävän lähelle elektrodia, purkautuu pilottikaari ulos suuttimen reiästä ja tämä saa aikaiseksi varsinaisen plasmakaaren. Työstettävä kappale kytketään virtalähteen + napaan ja elektroni - napaan. (Lincolnelectric.)



Kuva 16. Virtalähteen periaate. (Twi-global)

3.3.2 Ohjainyksikkö

Plasmaleikkauksen hallinta tapahtuu ohjainyksikön avulla (kuva 14), joka periaatteessa on PC, johon on asennettuna leikkausohjelma. Leikkausohjelmalla säädellään polttimen asetuksia materiaalin mukaan. Näitä ovat esimerkiksi kaarijännite, leikkausvirta, polttinkorkeus, leikkausnopeus, kaasun tai näiden seoksien määrä (Ihalainen, ym. 2003, 264.)

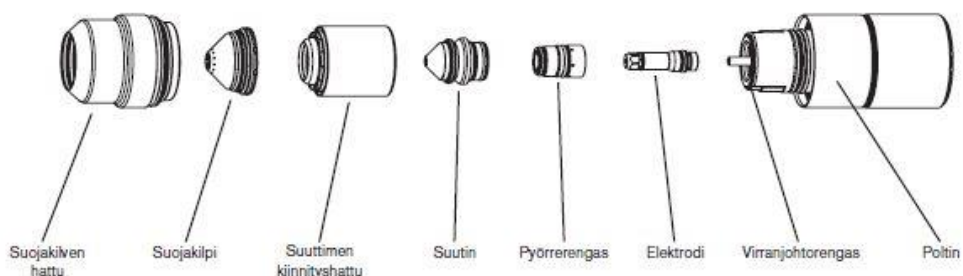
Ohjainyksiköllä tehdään myös kappaleiden nestaukset erillisellä ohjelmalla leikattaviin levyihin. Nestauksessa leikattavat kappaleet sijoitetaan leikkauslevylle ja määritellään leikkauksen aloituspiste (sisä- tai ulkomuodon mukaan), railoleveys, suojaetäisyys toiseen kappaleeseen. Nestausohjelma muuttaa leikkauksen CNC-koneiden käyttämään G-koodiksi, jolla itse leikkauskomennot koneessa tapahtuvat.

3.3.3 Energiansiirtolinja

Energiansiirtolinja pitää sisällään erinäisiä sähkökaapeleita, joilla virtalähteen jännite/virta saadaan syötetyksi polttimelle sekä signaalikaapelit portaalin ohjaukseen leikkauspöydällä. Samassa linjastossa kulkee myös eri kaasujen putket portaalia pitkin polttimelle, riippuen laitevalmistajan tavasta rakentaa laitteisto.

3.3.4 Leikkauspolttin

Leikkauspolttin koostuu seuraavan kuvan (kuva 17) mukaisista osista: Polttinrunko, elektrodi, pyörrerengas, suutin, suuttimen kiinnityshattu, kilpi ja kilven hattu.

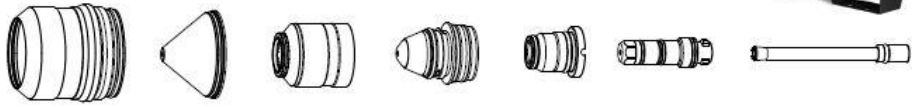


Kuva 17. Plasmaleikkaus CNC-koneen polttin rakenne. (Hypertherm).

Poltin on plasmaleikkauksen tärkein komponentti, sillä kaikki työ tapahtuu polttimen kautta. Kuten kappaleessa 3.2 kerroin, eniten kuluvat komponentit ovat elektrodi ja suutin. Polttinrunko on kiinni portaalissa, jota CNC-ohjelma ohjaa leikkauspöydällä. Elektrodi on pohjimmaisena polttimen rungon sisällä, johon virtalähteen negatiivinen napa on kytketty. Elektrodin päälle tulee pyörre rengas, joka saa aikaa käytettävän leikkauskaasun pyörteilyn elektrodin ympärille. Pyörteily tehostaa plasmankaaren tehoa. Seuraavaksi pakettiin kierretään suutin, jonka päässä olevan reiän koko määräytyy leikattavan materiaalin paksuuden mukaan. Myös muiden komponenttien koko ja ominaisuudet muuttuvat leikattavan materiaalin paksuuden ja laadun mukaan. Tämä koko paketti suojataan hatulla, jonka päälle tulee kilpi, jonka tehtävä on ohjata leikkauksesta syntyvät roiskeet pois polttimen päästä. Hatun tehtävä on myös pitää leikkauskaasu erillään suojakaasusta. Varsinkin paksujen materiaalien puhkaisussa sulaa materiaalia lentää paljon polttimeen päin. Viimeinen osa on suojakilven hattu, joka pitää kaikki osat paikoillaan polttimen sisällä. Polttimen sisällä kiertää vielä erillinen jäähdytysneste (kuva 12, sininen nuoli), jolla kulutuskomponenttien käyttöikä saadaan pidennettyä.

Seuraava kuva (kuva 18) esittää Hypertherm XPR300 polttimen pään osien numerot eri ampeeri (A) määrän mukaan niukkahiiliselle teräkselle, lisäksi suositellut kaasut.

XPR300™
Consumables



Mild steel

Amperage	Process	Shield cap	Shield	Nozzle retaining cap	Nozzle	Swirl ring	Electrode	Water tube	TECH
30 A	O ₂ /O ₂	420200	420228	420365	420225	420407	420222	420368	Chamb
50 A	O ₂ /Air	420200	420237	420365	420234	420233	420231	420368	Conical
80 A	O ₂ /Air	420200	420246	420365	420243	420242	420240	420368	CoolFlo
130 A	O ₂ /Air	420200	420255	420365	420252	420242	420249	420368	
170 A	O ₂ /Air	420200	420513	420365	420261	420260	420258	420368	
300 A	O ₂ /Air	420200	420491	420365	420279	420406	420276	420368	

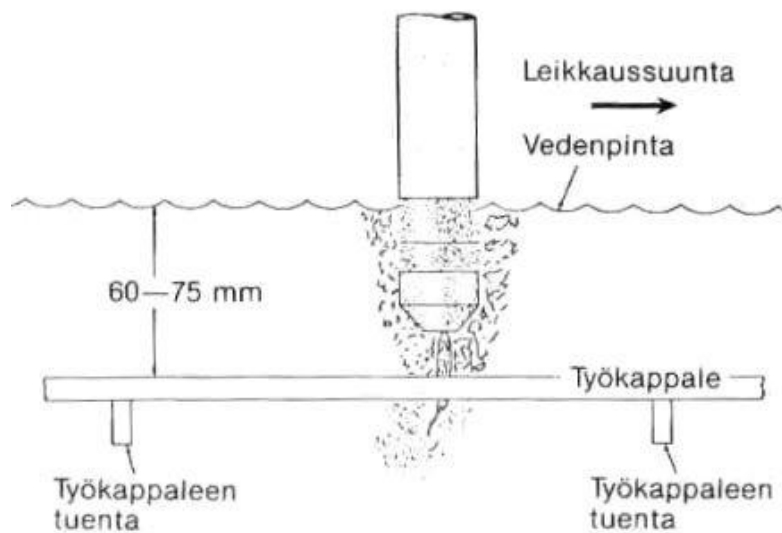
Kuva 18. Polttin osat Hypertherm XPR300. (Hypertherm).

Leikkausvirran (A) määrä on suoraan verrannollinen leikattavaan materiaalin paksuuteen, esimerkiksi kyseisen virtalähteen polttimen 30 A työkalulla leikataan materiaaleja paksuudesta PL0,5–2 ja 80 A työkalulla päästään PL5-8. 300 A työkalulla XPR300 virtalähteen avulla voidaan leikata PL40 terästä puhkaisulla ja reunasta aloittamalla päästään

PL50 paksuuteen. Työkalun valintaan vaikuttaa myös haluttu leikattavan kappaleen laatuvaatimus sekä materiaali (alumiini, kupari, RST, jne.). Myös haluttu leikkausnopeus vaikuttaa valittavaan työkaluun.

3.3.5 Vesileikkauspöytä

Vesileikkauspöytä on nimensä mukaisesti leikkauspöytä, jossa leikkausprosessi tapahtuu veden alla (kuva 19). Vesipatjaa ohjataan pöydässä paineilmapatjan avulla. Tällä tavoin leikkausprosessista syntyvät kaasut ja railosta pois puhallettu materiaali saadaan kerättyä tehokkaasti talteen. Vesileikkauksen avulla myös eri materiaalien leikkausprosessin aikana tapahtuvat muodonmuutokset saadaan pidettyä minimaalisena, kun työstettävä kappale ei pääsee lämpenemään. Vesileikkaus ei sovellu alumiinille.



Kuva 19. Vesileikkaus pöytä. (Ihalainen 2003, 264).

4 Tutkimusongelma

Tutkimusongelmana yrityksessä oli, kuinka voisimme saada plasmaleikkauksesta virtaavamman ja läpinäkyvämmän tuotannon ja työnjohdon näkökulmasta. Plasmaleikkaus toimii tällä hetkellä erillisessä rakennuksessa irrallaan muusta toiminnosta, joka on omiaan luomaan tiedonkulun ja materiaalivirran suhteen ongelmia.

Kun työmääräin on tehty leikkaukseen, ei sen etenemistä pysty seuraamaan prosessin ulkopuolelta. Myöskään tuotteen mahdollisesti valmistumista emme voi nähdä mistään. Kun saamme standardisoitua eri vaiheet leikkausprosessista, pystymme luomaan aikajanan työmääräimelle. Eli milloin se olisi valmistumassa ja näin ollen voimme suunnitella tuotannonvaiheita sen mukaan.

Leanin avulla saamme ratkaistua tuotannon pullonkauloja sekä saamme paremman käsityksen plasmaleikkausprosessin eri vaiheista. Tämä taas lisää sen läpinäkyvyyttä. Ymmärtämällä eri vaiheiden merkityksen kokonaiskuvaan, voimme tarttua paremmin ongelmiin, jotka aiheuttavat tuotannossa hukkaa.

Muuttamalla toimintatapoja pullonkauloissa voimme saada virtaustehokkuutta parannettua ilman, että resurssitehokkuus heikkenee merkittävästi. Standardisoimalla eri vaiheet pystymme vähentämään vaihtelun aiheuttamaa hukkaa, joka on suoraan pois virtausnopeudesta. Esimerkiksi virheen tai laatupoikkeaman syntyessä, pystymme suoraan kysymään, onko toimittu työohjeen mukaan. Jos on, niin vian syntymekanismin jäljittäminen helpottuu ja voimme oppia syntyneestä virheestä ja saada se pois järjestelmästä.

Tarkoituksena on myös saada toiminnot visualisoitua (fläppitaulu) mahdollisimman hyvin, jotta esimerkiksi vuorojen vaihdot olisivat sujuvampia, ja työntekijät saisivat sen hetken tilanteesta yhdellä silmäyksellä mahdollisimman hyvän tilannekuvan.

5 Tutkimussuunnitelma ja menetelmät

Tutkimustyön kohteena oli työmääräimen läpimenon tarkastelu plasmaleikkauksessa eri materiaalilaaduilla ja -paksuuksilla. Tutkimuksen pohjalta on tarkoitus optimoida plasmaleikkausprosessin vaiheita Leanin avulla ja käyttää 5S-menetelmää sen tukemiseksi. Varsinainen tutkimustyö tehtiin hyödyntäen Modular kaizen-menetelmää hukan löytämiseksi eri prosesseista (työvaiheista) ja näin ollen parantaa työmääräimen virtaavuutta ja läpinäkyvyyttä.

5.1 Tutkimuksen toteutustapa

Empiirisen tutkimusosuuden tiedon keräämiseksi valitsin toiminnallisen tutkimuksen, jonka tarkoituksena oli selvittää, miten työmääräinen kulku tapahtuu järjestelmässä ja millä tavalla leikkausprosessin virtaus etenee. Lähtötilanteeksi on otettu yleiskuva plasmaleikkaushallista (kuva 20), missä työmääräinen mukainen leikkaus tapahtuu.



Kuva 20. Plasmaleikkaushalli.

Kuten huomaamme kuvasta, halliin on soviteltu hyvin paljon erilaisia materiaaleja telineineen. Hallin suunnittelussa on käytetty pohjana vanhan hallin toimintaa, mikä oli hyvin sekava. Leikatut levyt ja leikkeet sekä leikkausta odottavat levyt ovat hyvin monesti epäloogisessa järjestyksessä lattiilla. Valmiit tuotteet odottavat jatkokäsittelyä ja näin ollen hidastavat seuraavien levyjen leikkausta, koska ovat materiaalsiirtojen edessä. Myös itse plasmaleikkauslaitteisto vaatii hyvin paljon oheislaitteita ympärilleen, jotta sillä voidaan operoida.

Liitteessä 1 on esitetty tarkempi kuvaus leikkaushallista layoutina, palaamme myöhemmin tähän tarkempien materiaaliavirtauksen ja eri työvaiheiden liikkeen kannalta. Tarkastelemme ensiksi mitä eri työvaiheet pitävät sisällään ja miten ne sijoittuvat tuotantotilaan.

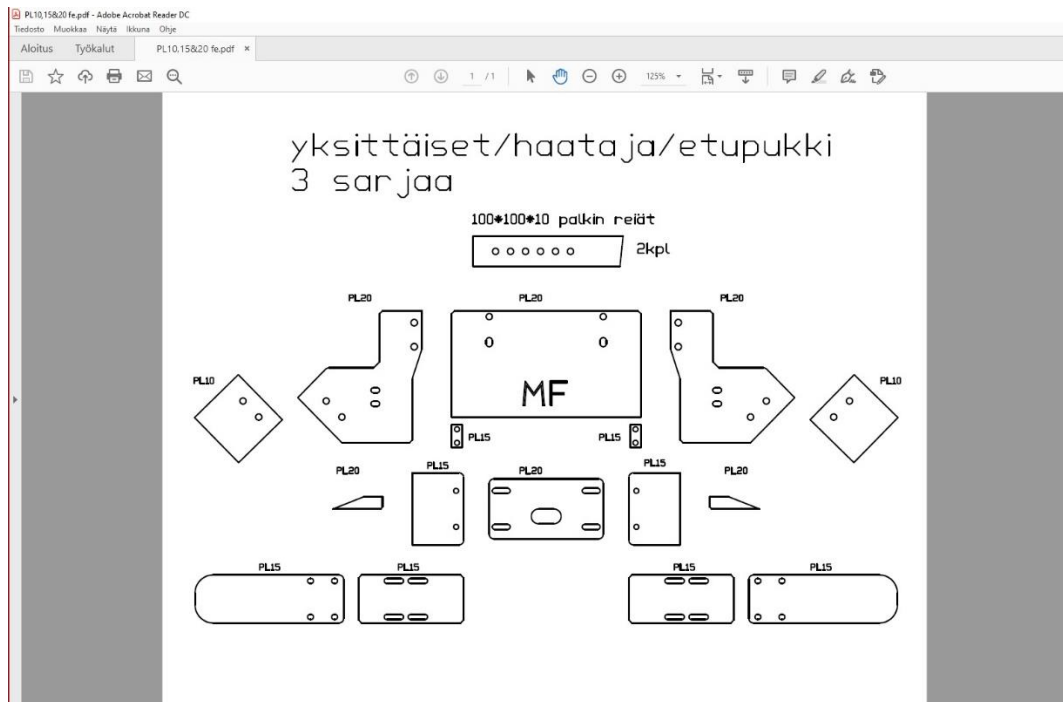
Työssä tarkastellaan työmääräimen kaikkia prosessivaiheita, jotka se kohtaa edetessään tilauksesta valmiiksi leikkeeksi asiakkaan (sisäinen tai ulkoinen) noudettavaksi. Työmääräin syötetään leikkauskansioon työnjohdolle tulleiden tilausten mukaan, mistä plasmaleikkaajat poimivat ne tuotantoon. Työmääräimeen kirjataan leikattava materiaaliipaksuus, materiaaliin laatu sekä todennäköinen tarvepäivämäärä ja työmääräinen tekijä (kuva 21).



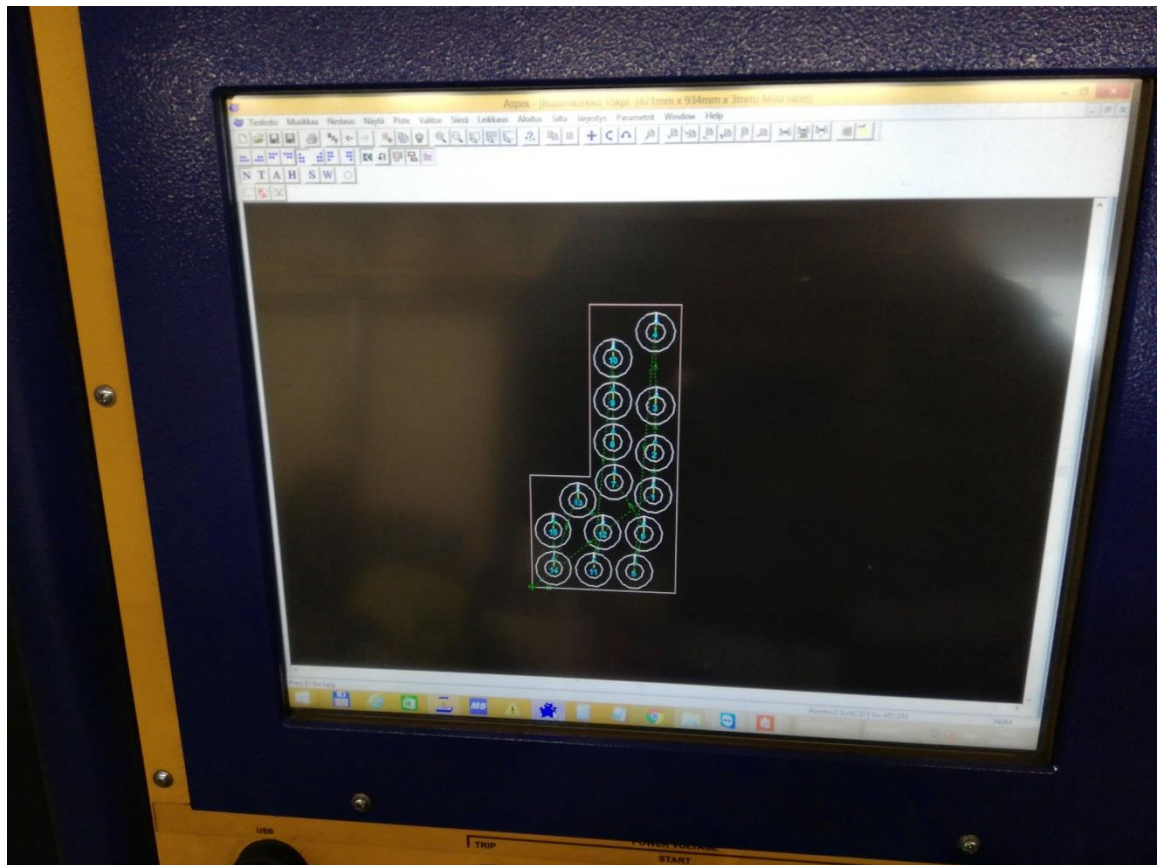
Nimi	Muokauspäivä	Tyyppi	Koko
	17.1.2020 17.10	Tiedostokansio	
8+5, PL16 KULU ja PL4 HST... J.P	31.3.2020 19.00	Adobe Acrobat D...	22 kt
PL0,5 HST, PL1 HST, PL2 HST... J.P Levyt tilattu	20.3.2020 8.19	Adobe Acrobat D...	5 kt
PL2... J.P	30.3.2020 8.45	Adobe Acrobat D...	6 kt
PL4 HST... J.P	9.3.2020 10.30	Adobe Acrobat D...	16 kt
PL5, PL6, PL8 ja PL10... J.P	3.4.2020 11.55	Adobe Acrobat D...	10 kt
PL8 ja PL12 HETI J.P	6.4.2020 13.03	Adobe Acrobat D...	6 kt
PL10... J.P	3.4.2020 14.52	Adobe Acrobat D...	15 kt
PL10 J.P	3.4.2020 11.05	Adobe Acrobat D...	5 kt
PL12 RST... J.P	6.4.2020 11.17	Adobe Acrobat D...	7 kt
PL20 ja PL25... J.P Nestattu	3.4.2020 8.43	Adobe Acrobat D...	16 kt
PL30 J.P 07.04.	6.4.2020 12.35	Adobe Acrobat D...	5 kt
KAMIRITILÄ J.P	2.4.2020 10.36	Adobe Acrobat D...	19 kt

Kuva 21. Työmääräin kansio.

Leikkaaja avaa työmääräimen, josta hän näkee leikattavien kappaleiden määrät ja paksuudet sekä polun, josta *.dxf muodossa olevat kappaleet löytyvät (kuva 22). Tämän jälkeen leikkaaja avaa työmääräimen erillisellä nestausohjelmalla (Asper), jossa työmääräimen mukaiset kappaleet, sijoitetaan ruodolle (kuva 23).

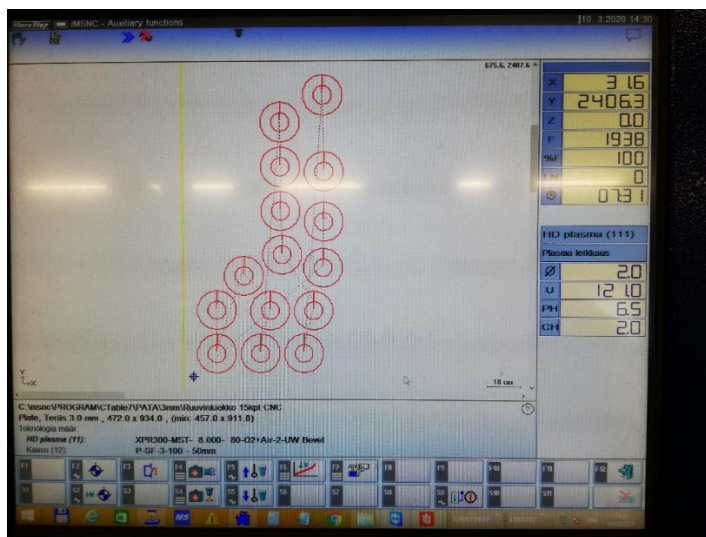


Kuva 22. Työmääräin.

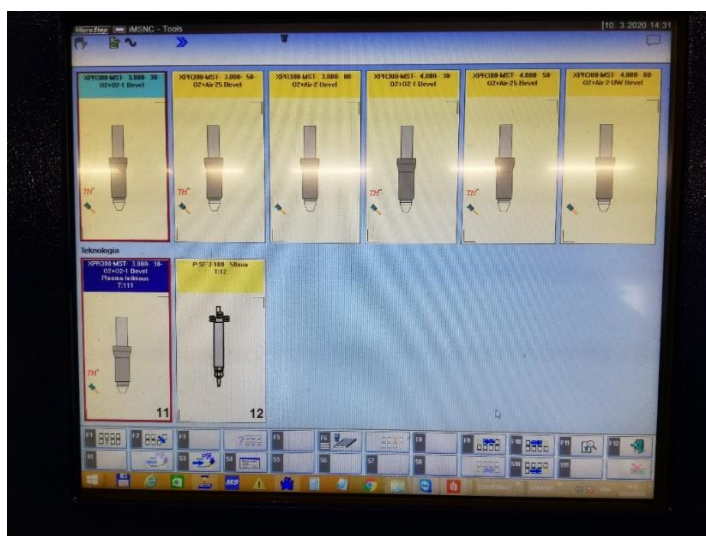


Kuva 23. Nestaus-sijoittelu (Asper).

Nestauksessa voidaan käyttää automaattista sijoittelua tai leikkaaja voi sijoittaa kappaleet manuaalisesti ruodolle. Molempia tapoja käytetään, riippuen kappaleiden muodoista, että saisimme levyhukan minimaaliseksi. Kappaleille määritetään nestauksessa ”turvavälit”, että varsinainen leikkausoperaatio voi tapahtua ilman leikkauksen katkeamista. Plasma-leikkaus vaatii aina kappaleen ympärille ylimääräistä materiaalia, jotta leikattavasta kappaleesta tulee halutun pituinen. Esimerkiksi ruoto on 800*800 millimetriä, joten siitä voidaan leikata maksimissaan 795*795 millimetrin kappale. Sijoittelun jälkeen määritellään kappaleen aloitus- ja lopetuspisteet sekä leikkausrailoleveys. Nestausohjelma muuttaa tehdyn osasijoittelun G-koodiksi, jota CNC-koneet käyttävät varsinaiseen operointiin. Tehty G-koodi avataan varsinaisella leikkausohjelmalla (kuva 24), jossa valitaan leikkauksen sopiva työkalu (poltinpää, kuva 25).



Kuva 24. Leikkausohjelma.



Kuva 25. Työkalun valitseminen.

Kun itse leikkaamista varten tehdyt toimenpiteet on suoritettu, pitää koneelle vielä syöttää leikattavan levyn paikka leikkauspöydällä. Tämä toimenpide tehdään määrittelemällä fyysisesti laserkohdistimen avulla levyn nurkkapisteet. Myös levyn korkeuden ajaminen poltinpäättä varten on tärkeä, koska sen avulla määräytyy käytettävä poltinkorkeus (kaarijännite) leikattavaan kappaleeseen nähden. Kaarijännitteellä ja poltinkorkeudella on suuri merkitys syntyvään leikkauspinnan laadun syntyyn.

Materiaaleja pyritään leikkaamaan paksuus- ja materiaalilaatu järjestyksessä, koska tällöin plasmaleikkauskoneelle tulee mahdollisimman vähän työkalun vaihtoja. Esimerkiksi, jos leikkauspöydällä on menossa 20 millimetrin normaaliteräs levy (S355), niin siitä seuraava looginen paksuus on 15 tai 25 millimetriä, riippuen mitä leikkeitä tilauksista olemme saaneet. Tämä asia vaikuttaa olennaisesti siihen, miksi osa työmääräimien läpimenoajoista ovat pitkiä. Koska ei ole tehokasta siirtyä 30 millimetrin levystä 2 millimetrin levyyn, josta leikkaisimme vain muutamia kappaleita. Erityistapauksissa teemme näin, mutta tätä käytetään avainasiakkaiden kanssa.

Leikkaaja tekee nestaukset sitä mukaa kuin työmääräimiä tulee leikkauskansioon. Leikattavat osat voivat olla kooltaan 30*30 millimetriä tai 5500*2000 millimetriä, leikkauspöytäme on kooltaan 3500*7000 millimetriä, johon leikattavat levyt (1500*3000 millimetriä) sijoitetaan leikkausprosessin aikana tai isommat levyt (2500*6000 millimetriä) vaativat koneen pysäyttämistä ja siirtoa sivuun

Kun leikattava levy on sijoitettu leikkauspöydälle, täytyy leikkausohjelmalle ilmoittaa sen äärimitat, että kone osaa leikata osat oikeasta kohdasta. Jos leikattava levy ei mene kokonaan leikkauksen aikana, jää siitä ns. ruoto, joka jää talteen ja käytetään seuraavalla keralla, jos leikattavat osat vain mahtuvat sille.

Itse leikkausprosessin aikana leikkaaja tekee seuraavien työmääräimien nestauksia tai vaihtaa polttimen kulutusosat seuraavaa leikattavaa materiaalia varten. Myös leikattujen osien keräys pöydältä tehdään seuraavan levyn leikkauksen aikana, jos se on vain mahdollista.

5.2 Työmääräinen virtauksen määrittäminen

Modular Kaizen-menetelmän ensimmäisen vaiheen mukaan lähdin selvittämään leikkaamon virtausta, jonka tarkoitus oli mitata, kuinka paljon kukin työvaihe vaatii aikaa. Tämä auttaa ymmärtämään, mitä päällekkäisiä toimintoja pystytään tekemään tai mitä toimintoja pitää pilkkoa pienempiin osiin, jotta työmääräimen virtausta, saadaan kasvatettua.

Lähtötilanteen kartoitukseen loin yksinkertaisen Excel-taulukon, jota leikkaajat täyttäsivät työpäivän aikana (kuva 26).

	Leikkaus											
	PL	PL	PL	PL	PL	PL	PL	PL	PL	PL	PL	PL
Levyypaksuus												
kulu, S355, panssari	aika min.											
Levyn laitto pöydälle												
Levykoko (?m*?m)ruoto												
Leikkaus ala m2												
paino												
työkalun vaihto												
leikkaus aika												
osien keräys pöydältä												
muut työt leikkaukseen												
(Nestaus)												
Huolto, jne.												
työmääräin tehty (pvm)												
osat leikattu (pvm)												

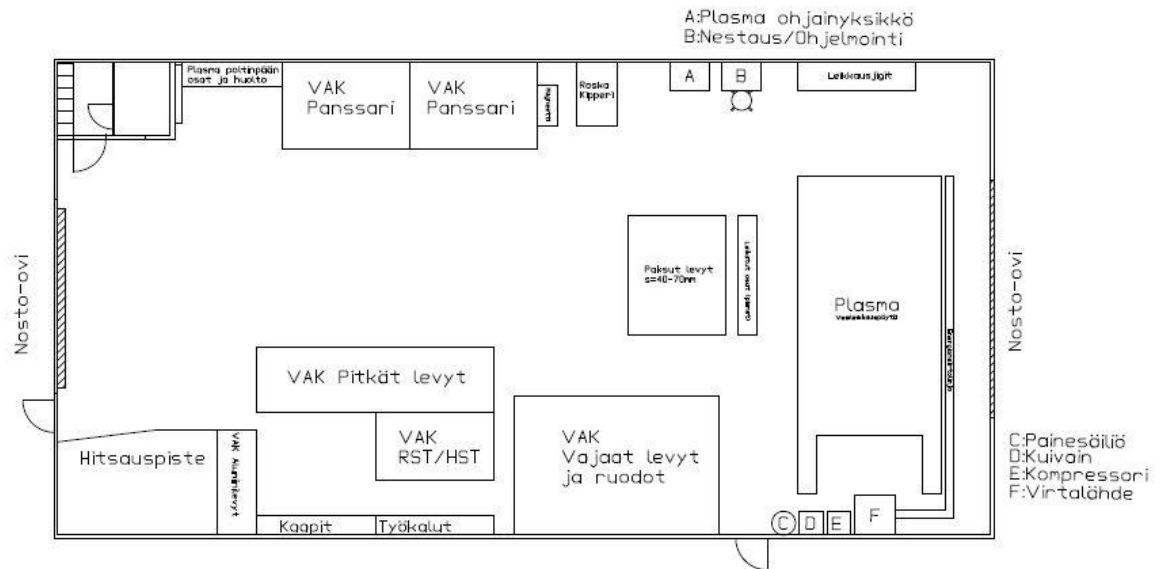
Kuva 26. Lähtötietokartoitus.

Leikkaajat merkitsivät taulukkoon mielestäni olennaisimmat asiat, joita tutkimalla saamme käsityksen, mitkä seikat vaikuttavat työmääräimen virtaavuuteen. Taulukkoa muokattiin pariin otteeseen, jotta käytännön kannalta olennaiset tehtävät tulisivat mittaukseen mukaan.

Leikkaajien täyttämät taulukot tallensin Exceliin, missä saamme materiaalin sähköiseen muotoon. Excelin avulla muodostin erilaisia kaavioita (analysoimme dataa), joiden avulla saimme tietoon, kuinka paljon mikäkin työvaihe kestää leikkausprosessissa, ja mitkä ovat sen mahdolliset ongelmakohtat (pullonkaulat).

Saadun tiedon pohjalta saimme selville, miten leikkaajan päivän toiminnot jakautuvat. Mihiin pystymme vaikuttamaan ja mihiin emme. Datat analysointia käymme tarkemmin lävitse tulokset-osiossa.

Leikkaajien työskentelystä leikkaamossa tein layout-kuvan, jonka avulla materiaalin kulku leikkaamossa olisi helpompi nähdä eri työvaiheiden kesken. Seuraava kuva (kuva 27) esittää lähtötilannetta leikkaamosta layout-kuvan muodossa.



Kuva 27. Leikkaamo -layout.

Materiaalin kuljetus leikkaamoon tapahtuu kahden nosto-oven kautta, pienet levyt (1500*3000 millimetriä) tulevat vasemmasta ovesta ja isot (2500*6000 millimetriä) oikeasta ovesta. Levyt sijoitellaan VAK:in laadun ja paksuuden mukaan järjestykseen, mistä ne nostetaan siltanosturilla leikkauspöydälle, kun kyseistä levyä tarvitaan. Isot levyt nostetaan yleensä suoraan leikkauspöydälle ja leikkauksesta jäljelle jäänyt ruoto säilytetään sisällä VAK:ssa.

Leikatut kappaleet kerätään leikkauspöydällä EUR/FIN lavalle tai materiaalikoreihin, riippuen kappaleiden koosta ja kappalemäärästä. Tämän jälkeen lava/kori nostetaan nostohaarukan avulla leikkaamon lattialla odottamaan jatkokäsittelyä. Loppuun leikatut levyt ja ruodot sekä leikatut kappaleet poistuvat leikkaamosta pienemmästä nosto-ovesta.

Leikkaajat tekevät nestaukset ja koneen ohjauksen PC:llä, joka on sijoitettuna leikkauspöydän lähellä. Tämä sen takia, että he voivat seurata leikkausprosessia, samalla kun tekevät seuraavien levyjen nestauksia. Plasmaleikkaus pysähtyy, jos leikkauksessa käytettävä kaasu (paineilma tai happi) loppuu. Laitteelle on määritelty tietyt verkostopaineet, joiden rajoissa se toimii. Myös pienet kappaleet aiheuttavat monesti pysähdyksiä leikkauksessa, koska ne "nousevat pystyyn" levyille ja poltinpää törmää siihen, jonka suojakytkin lopettaa koneen toiminnot. Näistä ja muista syistä konetta ei voi jättää valvomatta leikkaamaan, koska prosessissa on aina muuttuvia tekijöitä, jotka voivat keskeyttää leikkauksen.

Leikkausprosessin aikana myös valmistellaan eli kootaan poltinpää haluttuun kombinaatioon, esimerkiksi 60 A tai 300 A tulevien leikkauksien mukaan. Myös tarvittava levyaihio, joka sijoitetaan suoraan pöydälle tai nostetaan pöydän viereen odottamaan valmiiksi leikkausta. Aina tämä ei ole mahdollista, vaan levy(t) sijoitetaan pöydälle yksi kerrallaan, ja leikkaukset hoidetaan koko pöydän alalta pois ja tämän jälkeen kerätään kappaleet jatkokäsittelyyn.

Leikkaajat säätävät konetta myös prosessin aikana, jotta leikkauspinnan laatu olisi mahdollisimman hyvä. Vuosien saatossa olemme saaneet säädettyä työkalut valmiiksi virtojen ja jännitteiden suhteen, näin säädöt olisivat valmiit eri materiaaleille. Myös erinäiset huoltotyöt koneelle leikkauksen aikana tai, jos leikkaus keskeytyy huoltoa vaativan vian takia, rasittavat työmääräimen kulkua.

Kaizenin oppien mukaan seuraavaksi lähdin datan analysoinnin pohjalta tutkimaan ja tunnistamaan leikkausprosessin ongelmakohtia. Rajaamme prosessin ulkopuolelle sellaiset tekijät, jotka ovat sattumanvaraisia ja joihin ei pystytä itse vaikuttamaan. Leikkaamon toiminta on pääasiassa toimivaa, mutta aina löytyy parannettavaa. Helpoiten toimintojen ongelmat tulevat mielestäni esille, kun tarkastelemme asiaa layout-kuvan pohjalta (liite 1.)

Siniset nuolet kuvaavat materiaalin liikkumista sisäänpäin (tavaran vastaanotto ja hyllytys, siirto leikkauspöydälle) leikkaamossa. Punaiset nuolet kuvaavat ruotojen ja valmiiden kappaleiden liikettä. Musta nuoli kuvaa leikkaajan muutamia liikkeitä leikkaamossa. Yhden päivän aikana leikkaaja voi käyttää leikkaamossa liikkumisen pinta-alasta jopa 90 %. Oranssi nuoli kuvaa työkalun vaihtoon tarvittavaa liikettä. Layoutiin ei ole merkitty kaikkea liikettä leikkaamossa, koska haluamme pitää suunnitelman mahdollisimman selkeänä.

Kuten voimme havaita kuvasta, leikkaamon sisäistä liikettä on hyvin paljon, ja eri virtojen radat risteävät usein. Liikeratojen tiellä on monia esteitä, ja ne kulkevat tilassa poikittain. Voimme huomata valmiiden kappaleiden jäävän haittaavasti muiden kulkureiteille ja paksumat levyjen olevan keskeisellä materiaalin kulkureitillä. Vaikka valmiit tuotteet pyritään ottamaan käyttöön tarvepäivinä, voi tuotannossa ilmetä päivien viiveitä, jonka seurauksena valmiit tuotteet jäävät lojumaan leikkaamon lattialle. Osa tuotteista joudutaan ajamaan hyllyyn varastoon, mutta Lean-ajattelumallin mukaan pyrimme pitämään leikkaamon tuotannon JIT-toiminnassa, jolloin valmiit leikkeet eivät olisi turhaan välivarastoissa.

Layout-suunnittelussa otimme käyttöön myös Leanin 5S-työkalu, jolla poistimme osan tarpeettomista asioista leikkaamossa ja järjestelimme tavaroita/materiaaleja sijoittelultaan loogisempiin tiloihin töiden suhteen.

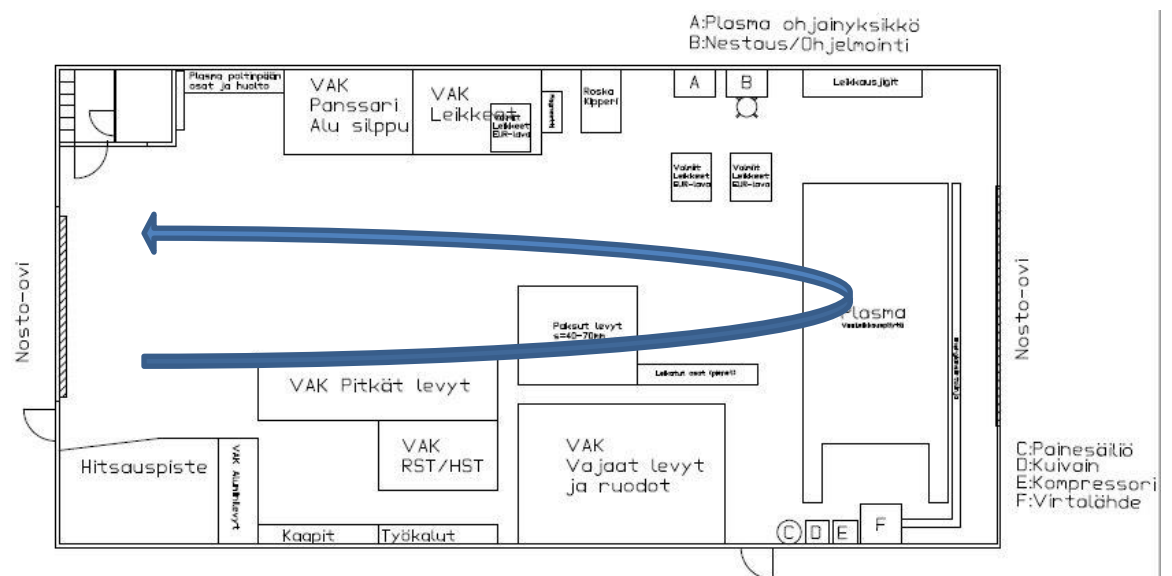
Yksi asia, johon emme voi vaikuttaa on työkalun vaihtopiste (oranssiliike), koska työkalun puhdistamiseen ja huoltamiseen tarvitaan syttyviä nesteitä, joita ei voida sijoittaa leikkaus-
pöydän läheisyyteen tulipalovaaran vuoksi.

5.3 Muutos

Lean-ajattelussa materiaalin optimaalinen virtaus kuvataan hyvin monesti U-lenkiksi. Se tarkoittaa raaka-aineen saapumista lähtöpisteeseen ja kulkemista U:n muotoisen toimintaketjun lävitse ja palaamista raaka-aineen viereen jalostettuna tuotteena. Näin esimerkiksi materiaalilla ei tapahdu risteävää liikettä tai, jos jokin tuote ei tarvitse tiettyä vaihetta ketjussa, se voi ”hypätä” sen vaiheen ylitse helposti. U-lenkki tarjoaa myös laitteen käyttäjille helpon mahdollisuuden tarkkailla laitteita, koska kaikki ovat lähietäisyydellä verrattuna siihen, jos laitteet olisi asetettu yhdeksi suoraksi linjaksi.

Pohdin ongelmanratkaisua U-lenkki-toiminnan kannalta niin, että suurin osa meidänkin materiaalivirrastamme kulkisi pienemmän nosto-oven kautta. Kerätystä datasta huomasin valmiiden tuotteiden ja levyjen/ruotojen siirtelyn vievän työajasta 26 %. Näitä kahta asiaa muuttamalla voisimme saada parannettua virtaavuutta.

Kerätyn datan ja U-lenkki-toimintamallin kautta leikkaamon uudeksi layout-suunnitelmaksi tuli seuraavanlainen malli, jossa on pyritty parantamaan materiaalin virtaus läpi leikkausketjun (kuva 28).



Kuva 28. Leikkaamo-layout muutos.

Päädyimme kuvan 28 mukaiseen muutokseen, koska suurin osa (yli 90 %) leikattavista levyistä ovat pientä levykokoa, ja toiseksi leikkauspöydän uusi sijoittaminen olisi vaatinut koko plasmaleikkauskaluston siirtämisen. Se taas olisi tarkoittanut tuotannon seisahtumista, mihin ei olisi ollut mahdollisuutta. Leikkauspöydän siirto olisi vain antanut mahdollisuuden tehdä leikkaamosta täysin läpivirtaavan, jolloin materiaalin liike olisi ollut yhden-suuntaista ja olisimme välttyneet turhilta ”esteiltä” virtauksen suhteen. Läpivirtaavassa mallissa leikkauspöytä olisi siirretty sisäänpäin sen verran, että valmiit tuotteet olisivat olleet isomman nosto-oven edessä noudettavissa, eivätkä ne olisi haitanneet pöydälle tulevan tavaran liikkumista.

Muutoksiin käytettävissä oleva aika rajoittaa leikkaamoon tehtävää muutosta. Leikkaustoiminto toimii 1:ssä tai 2:ssa vuorossa riippuen tilauksien määrästä ja näin ollen muutokset piti pystyä tekemään viikonlopun aikana. Esimerkiksi pitkien levyjen VAK-teline sisältää 25 tonnia terästä, joten siirrot olisivat olleet hyvin hidasta ja aikaa vie työtä. Nytkin tehdyssä muutoksessa paksut levyt sisälsivät yli 40 millimetrin levyjä. Niiden siirtäminen oli todella hidasta ja aikaa vievää työtä johtuen levyjen painosta.

Vertaamalla liitettä 1 ja 2, voimme huomata materiaalin virtaamisen olevan leikkaamossa hieman yksinkertaisempaa (sininen nuoli) pienilläkin muutoksilla. Muutoksilla voimme helpottaa päivittäistä työskentelyä ja tehostaa prosessia. Kaikkien risteävien toimintojen eliminointi olisi vaatinut massiivisempia toimintoja, joihin emme tämän työn puitteissa pystyneet puuttumaan. Nyt toteutuneella muutoksella pystymme kuljettamaan leikkauspöydälle levyn, vaikka valmiit tuotteet ovat jääneet odottamaan noutoa jatkokäsittelyyn. Meidän ei tarvitse siirtää levyjä tai lavoja toisten tavaroiden ylitse paljoakaan. Plasman polttimen huolto ja työkalun vaihto pysyvät edelleen samalla paikalla, johtuen tulipaloriskistä (oranssi viiva). Myös muut leikkaajan liikkeet (musta), johtuen levyjen siirroista ja koneen käyttöön liittyvistä toiminnoista, pysyvät ennallaan.

5.3.1 Muutoksen toteutus ja toimivuus

Seuraava vaihe oli toteuttaa suunniteltu layout-muutos leikkaamossa ja kerätä dataa samoista asioista kuin ennen muutosta. Kuten aina, muutos aiheuttaa vastarintaa toteutukseen. Uskon tämän muuttuvan, kun tekijät näkevät muutoksen vaikutuksen työskentelyyn. Muutoksen jälkeen he haluavat itse etsiä aktiivisesti ongelmia ja tehdä niihin parannustoimenpiteitä.

Lähtötilannekuva leikkaamosta ennen muutoksen toteuttamista (kuva 29).



Kuva 29. Leikkaamon lähtötilanne.

Huomaamme kuvasta, ja mainitsin asiasta aikaisemmassa osiossa, leikkauspöydän edessä olevan paljon tavaraa, joita siinä ei tarvita 5S-ajattelun mukaisesti. Esimerkiksi valmiit leikkeet jäävät pöydän viereen lavoille odottamaan jatkokäsittelyä. Paksut levyt on sijoitettu pöydän läheisyyteen, koska olemme halunneet pitää niiden nostoetäisyyden minimissään, johtuen levyjen käsiteltävyyden hankaluudesta. Pienten, leikattujen osien pöytä on sijainnut heti leikkauspöydän vieressä, koska leikkaajien mielestä niiden nostaminen leikkauspöydältä on vienyt aikaa. Tähän esitinkin leikkaajille kysymyksen, kuinka kauan 100*100 millimetriä ja 10 millimetrin paksun kappaleen (20 kpl) siirtämiseen menee

aikaa, jos niiden välivarastopöytä sijaitsee 1,5 metriä kauempana verrattuna siihen, että pääset pöydän vierestä nostamaan suoraan trukilla 1000*1000 millimetriä ja PL 10 millimerin levyn, joka on aikaisemmin pitänyt nostaa nostomagneetin tai nostotarraimen avulla lattialle, mistä se on pystytty kuljettamaan trukilla jatkojalostukseen.

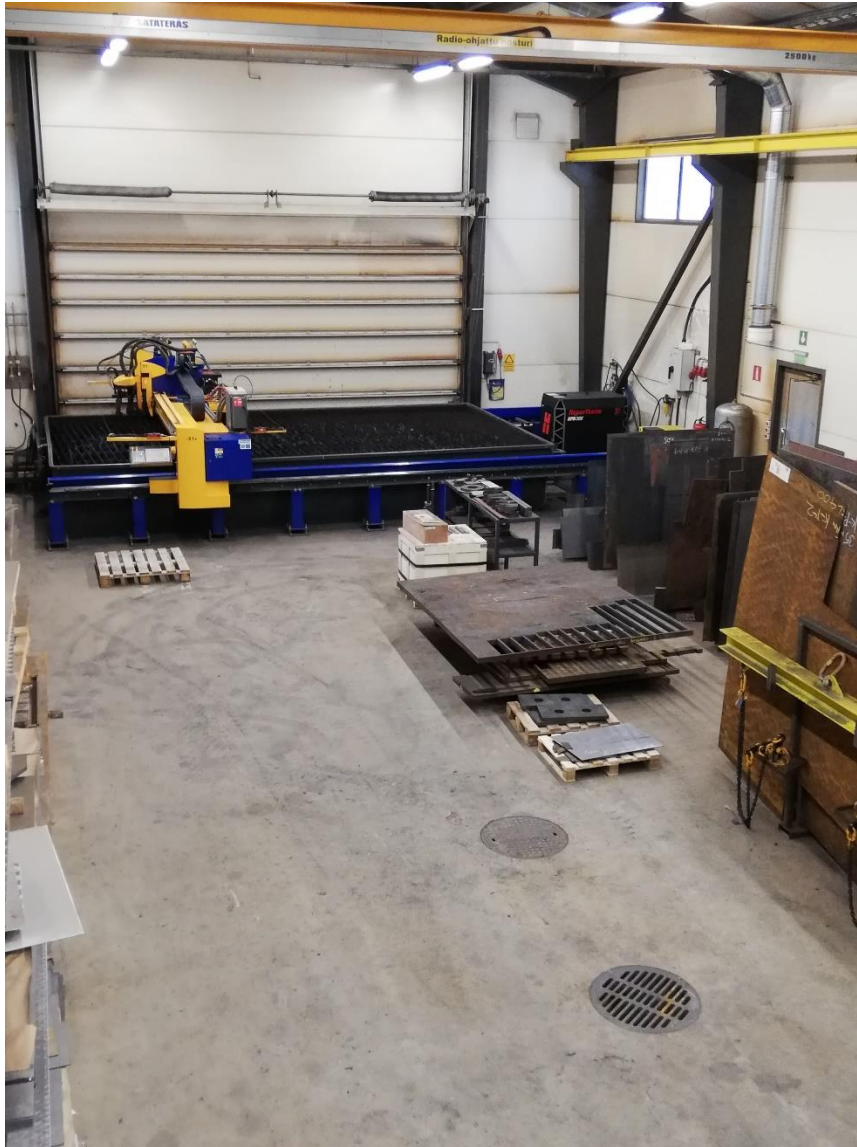
Layout-uudistaminen lähti koko pöydän edustan purkamisella (kuva 30), että uudelleen järjestely voidaan tehdä ”puhtaalle pöydälle”. Samalla kun siirsimme levyjä ja tasoja, teimme 5S-menetelmän mukaan tavaroille sortteerausta, eli saimme karsittua pöydän läheisyydestä pois sellaiset asiat, joita ei tarvita päivittäisessä työskentelyssä.



Kuva 30. Muutos käynnissä.

Pöydän vierestä löytyi muun muassa plasman asennuksen aikaiset kaapelilaatikat (asennuksesta kolme vuotta) sekä leikkausjigejä, joita on tarvittu kerran. Pöydän vierestä löytyi myös paljon pieniä kappaleita, joita on leikattu syystä tai toisesta ylimääräisiä tai niiden käyttötarkoitus on muuttunut. Paljon tai päivittäistä käyttöä tarvittavat työkalut sijoitettiin leikkauspisteen lähelle ja vähemmän käytöllä olevat kauemmaksi. Ihannetilanne olisi siirtää tiedon perusteella käytettävät materiaalit pöydän välittömään läheisyyteen. Näin niiden siirtäminen leikkauspöydälle ja siltä pois olisi vaivatonta sekä nopeaa. Tehtyjen toimenpiteiden avulla poistamme hukkaa ja saamme tilat tehokkaampaan käyttöön.

Samalla kun toteutamme layout-muutosta, pyrimme saamaan leikkaamoon perussiisteyden. Tämän siisteystason laitamme 5S-standartitasoksi, jossa leikkaamo pyritään pitämään jatkossa. Layout-suunnitelma on yksi osa 5S-standartisointia, jossa olemme määritelleet tavaroille niiden paikat. Tämän suunnitelman sijainnit eivät välttämättä ole lopullisia, vaan lähdemme rakentamaan sitä lohko kerrallaan kokeilemisen kautta. Tavoitteena on saada rakennettua jatkuvan parantamisen kautta mahdollisimman virtaavan leikkaustoiminnan. Lopputilanne layout-suunnitelman pohjalta (kuva 31).



Kuva 31. Muutos suoritettu.

Kuvasta huomaamme muutoksen olevan fyysisesti suuri, vaikka osittain samat materiaalit on vain sijoiteltu uudelleen. Suunnitelman tarkoituksen mukaisesti merkittävin muutos oli

se, että nyt pääsemme noutamaan trukilla tai kurottajalla leikkeitä suoraan leikkauspöydältä. Leikkaajien ei tarvitse kuin nostaa kuormalava pöydälle ja tuoda leikatut leikkeet siihen. Tämän jälkeen leikkaaja nostaa leikkeet lavan avulla suoraan pois pöydältä.

5S-menetelmän mukaisesti leikkaamon lattiaan merkataan/maalataan kulkuväylät, joita pitkin materiaalin kuljetus pöydälle ja pois suoritetaan. Näin kulku on esteetöntä kaikissa tilanteissa ja eikä materiaalin kululle syntyisi turhia esteitä. Tämä on yksi osa leikkaamon toimintojen standardisointia ja dokumentointia.

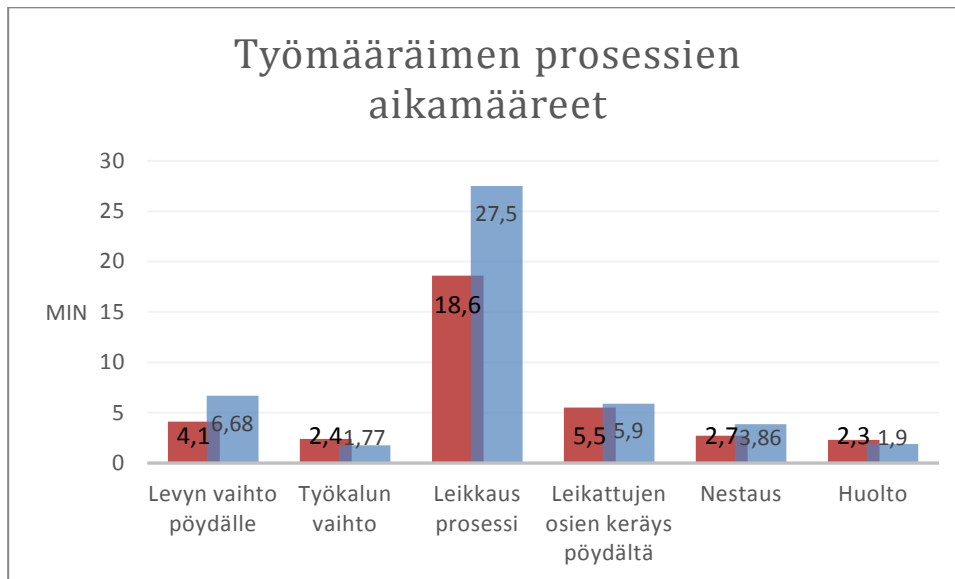
6 Tulokset

Tulokset-osissa käyn läpi, työmääräimen virtaavuuden kannalta olennaisimmat seikat kerätyn datan lähtötilanteen ja muutoksen jälkeen. Kaavio kerrallaan tarkastelen, mihin asioihin muutoksilla on ollut vaikutuksia ja mistä syystä näin on tapahtunut. Jotta ymmärrämme muutoksien kokonaiskuvan, täytyy ensin ymmärtää osatekijöiden merkitykset, joita käsittelen ensiksi.

Ensimmäiseksi tarkastelen, kuinka työmääräinen ajankulun kesto jakautuu eri prosessien kesken ennen muutosta (kaavio 2, sininen), ja muutoksen jälkeen (kaavio 2, punainen). Kaavioissa esitetyt ajat ovat kunkin otannan keskiarvoja. Kaavioista näemme, että itse leikkausprosessi vie eniten aikaa (28 minuuttia verrattuna 19 minuuttiin). Tähän emme voi vaikuttaa juurikaan, koska se johtuu leikkausparametreista, jotka vaikuttavat suoraan kappaleen leikkauspinnan laatuun. Emme halua tinkiä leikkauksen laadusta. Leikkausprosessin ajankäytön hallitsevuus ei kerro suoraan, onko leikkaamotoimintamme resurssi- vai virtaustehokas tai olemmeko siellä jossakin välimaastossa. Jos tarkastelemme asiaa, työmääräimen kannalta ja leikkausprosessi olisi yli 90 % läpimenoajasta, olisimme resurssitehokkaita. Resurssitehokkuus saisi aikaan sen, että plasmaleikkauksen läpi menisi mahdollisimman paljon materiaalia, mutta todennäköisesti työmääräimien virtaus olisi heikko.

Työkalun vaihto vie suhteellisen vähän aikaa työmääräimen käsittelyssä ennen ja jälkeen muutoksen (yksi minuuttia ja 48 sekuntia sekä kaksi minuuttia ja 24 sekuntia). Sen voinee ajatella olevan merkityksetön kokonaisuuden kannalta. Myös koneelle tehtävät pienet huollot kuuluvat päivittäisiin toimintoihin, jotka ovat kokonaisuutta ajatellen pieniä muutujia. Myös nestaukset ovat toimenpiteitä, jotka suoritetaan ennakkoon levyille edellisen levyn ollessa leikkauksessa, joten sen vaikutus virtaavuuteen voitaneen pitää merkityksettömänä.

Jäljelle jäävät asiat työmääräimen läpimenoissa ovat, kuinka paljon levyjen laittaminen ja leikattujen leikkeiden keräys vievät aikaa läpimenoista. Voimme havaita, että muutoksen jälkeen levyn vaihto pöydälle on pudonnut reippaasti (kuusi minuuttia ja 40 sekuntia → noin neljään minuuttiin). Siihen halusimme parannusta. Toisaalta, jos tarkastelujaksolle on sattunut paljon leikattavia levyjä, joista ei ole jäänyt jäljellä talteen otettavaa ruotoa, on se nopeuttanut materiaalin käsittelyä pöydälle ja pois pöydältä. Myös leikattujen osien keräys leikkauspöydältä on tarkastelujakson aikana pudonnut jonkin verran (kuudesta minuutista → viiteen minuuttiin ja 30 sekuntiin.).



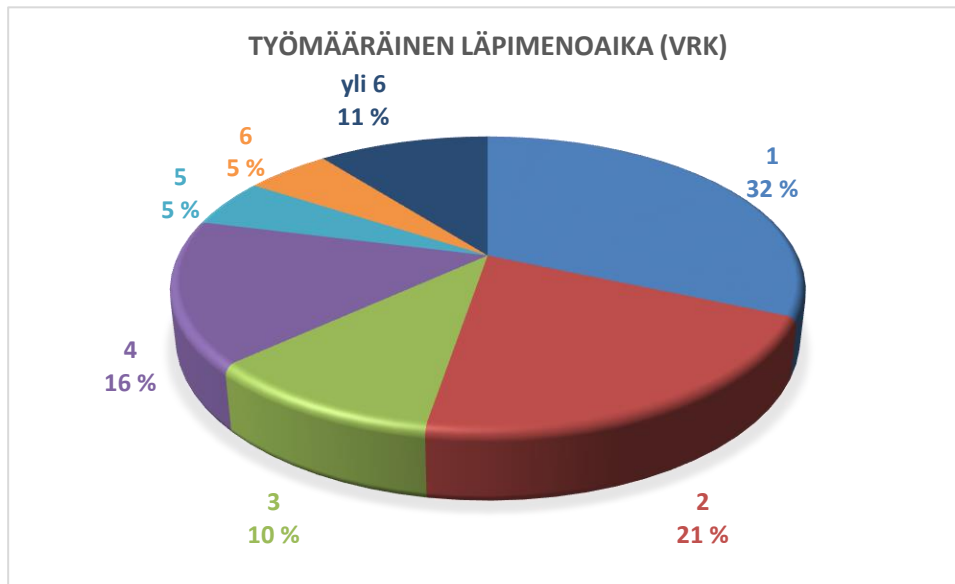
Kaavio 2. Työmääräimen prosessit ennen muutosta.

Seuraavaksi tarkastelemme, työmääräimen läpimenoaikaa. Kaaviot 3 ja 4 kertovat, kuinka monta työpäivää kestää siitä, kun työmääräin on luotu ja siinä olevat leikkeet ovat valmiina asiakkaalle tai jatkojalostukseen omassa kokoonpanossa.

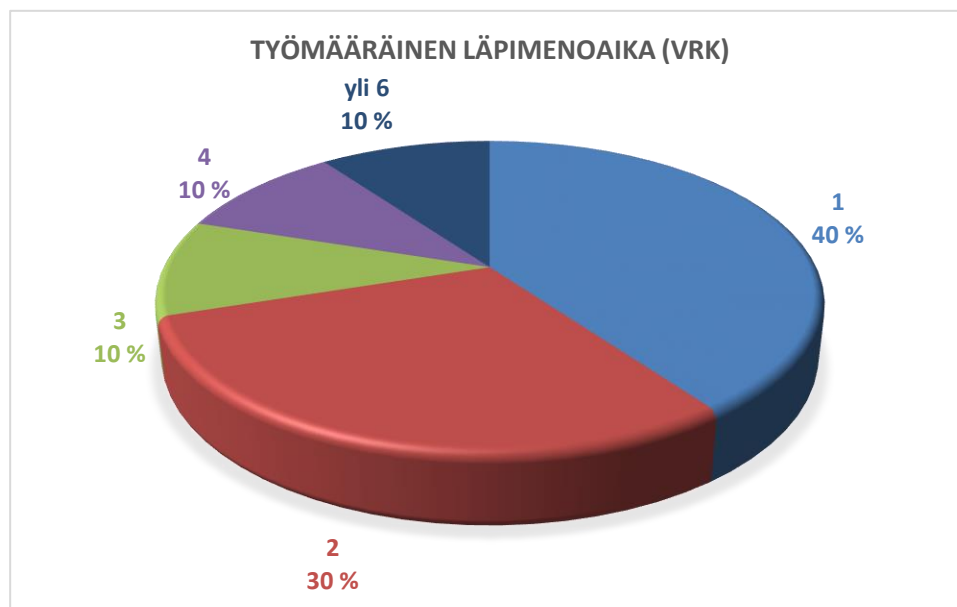
Ennen leikkaamon layout-muutosta, työmääräimistä 53 % valmistui kahden työpäivän sisään. Tätä voimme pitää suhteellisen hyvänä aikana toimialallamme. Saamme ajettua leikkeitä suhteellisen lyhyellä ajalla leikkaamon läpi, ja lisäksi meillä jää kapasiteettia reserviin, koska tuotanto on ollut tarkastelujaksolla käytössä vain yhdessä vuorossa. Muutoksen jälkeen työmääräimistä on valmistunut kahden työpäivän sisään 70 %, jota voimme pitää todella suurena muutoksena. Myös muutoksen jälkeen töitä tehtiin vain yhdessä vuorossa, että tulokset olisivat vertailukelpoisia keskenään. Tästä voi päätellä, kuinka olemme onnistuneet nostamaan, työmääräimen virtaavuutta leikkaamossa tekemällämme layout-muutoksella, jonka tukena 5S on ollut.

Yli kuuden työpäivän virtaus puolestaan kertoo, että kyseessä on ollut todennäköisesti tilaus, johon meillä ei ole ollut materiaalia varastossa ja levyaiho on jouduttu tilamaan levytoimittajalta. Nämä tilaukset ovat yleensä pitkällä toimitusajalla, koska raaka-aineenkin toimitus voi meille kestää pahimmassa tapauksessa kuusi-kahdeksan viikkoa.

Työmääräimen läpimenoaika auttaa työnjohtoa tuotannon suunnittelussa. Näin työnjohto pystyy ennakoimaan, milloin tarvittavat kappaleet ovat valmiina. Leike voi tulla esimerkiksi kokoonpanolinjalle hitsattavaksi tai mennä suoraan koneistukseen, josta ne tulevat sitten kokoonpanoon työstettäväksi.



Kaavio 3. Työmääräinen läpimenoaika ennen muutosta.



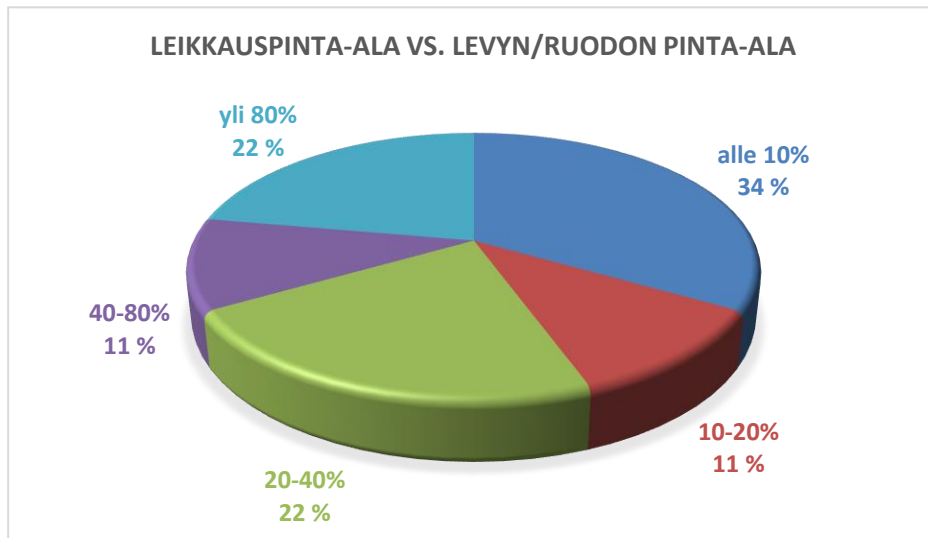
Kaavio 4. Työmääräinen läpimenoaika muutoksen jälkeen.

Seuraavaksi tarkastelemme, kuinka hyvin olemme hyödyntäneet leikkauksessa olleet levyaihiot/ruodot (kaaviot 5 ja 6). Yli 80 % hyödyntäminen levy-pinta-alasta tarkoittaa, ettei siitä jää enää jäljelle hyödynnettävää seuraavaan leikkaukseen, vaan levy tai ruoto on leikattu kerralla loppuun. Loppuosa levystä siirretään jätelavalle odottamaan teräksen kiertokulkua. Ennen muutosta leikkasimme levyaihion pinta-alasta yleensä 20-80 %. Se tarkoittaa, että leikkauksen jälkeen jäljelle jäänyt ruoto pitää siirtää VAK:iin odottamaan

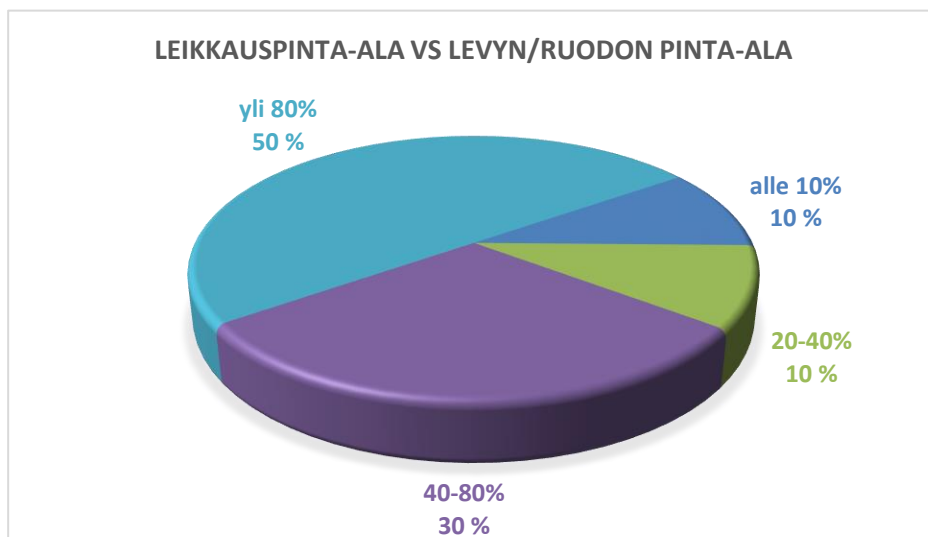
seuraavaa kertaa, kun kyseistä levyn paksuutta ja laatua tarvitaan. Myös leikattavien kappaleiden koko vaikuttaa levyn hyödyntämiseen paljon. Esimerkiksi tarvitaan kappale koossa 680*3500 millimetriä, joka ei mahdu 1500*3000 millimetrin perusarkille, joudutaan käyttämään 2500*6000 millimetrin aihiota. Se taas lisää levyn siirtelyyn kuluva aikaa ja samalla huonontaa levyjen pinta-alan käyttöprosenttia. Muutoksen jälkeen olevalla tarkastelujaksolla olemme leikanneet puolet levyistä, joiden leikkauspinta-ala on ollut yli 80 %. Tuloksella voitaneen selittää, miksi kaaviossa 2 osien keräämiseen kulunut aika on lisääntynyt.

Leikkauspinta-ala suhteessa levyn pinta-alaan ei ole täysin absoluuttinen vertailukohde, koska välillä leikkeet voivat olla hyvin monimuotoisia, eikä levyistä voida hyödyntää kuin esim. 50 % sen hetken tilauskannalla. Levylle voisi sopia kahden viikon päästä tulevia pienempiä leikkeitä (alle 100*100 mm). Mutta onko kannattavaa säilöä jokaista ruotoa, jota voi mahdollistaa pienien leikkeiden leikkaukseen, ei. Meiltä jää koko ajan pieniä (alle 0,5 m² kokoisia) levyjä, joiden siirtely on paljon nopeampaa ja helpompaa kuin isojen ruotojen käsittely. Myöskään raaka-ainemenetykset eivät ole suuria verrattuna siihen, että säilöisimme jokaisen ruodon ja yrittäisimme saada jokaisen levyn hyödynnettyä yli 80 %.

Joissakin tapauksissa pystymme lisäämään hyödynnettävää levyn leikkauspinta-alaa omilla bulk-tuotteilla. Näitä leikkeitä laitamme aina leikkaukseen, kun vain sopivaa levy-paksuutta ja -laatua on menossa leikkaukseen. Tosin näitä leikkeitä joudutaan varastoi-maan aina x määräajaksi varastoon. Koska suurin osa tuotteistamme on niche-tuotteita, lisää se levyjen pinta-alan hyödyntämisen vaikeutta. Kappaleiden koot voivat vaihdella 50*50 millimetristä aina 1800*5500 millimetriin. Voisimme myös kasvattaa leikkaamoon puskuria, jotta sinne tulee tilauksien mukana mahdollisimman paljon eri leikkeitä. Tämä puolestaan heikentäisi työmääräimen virtaavuutta, jota olemme tämän työn tiimoilta opti-moimassa.

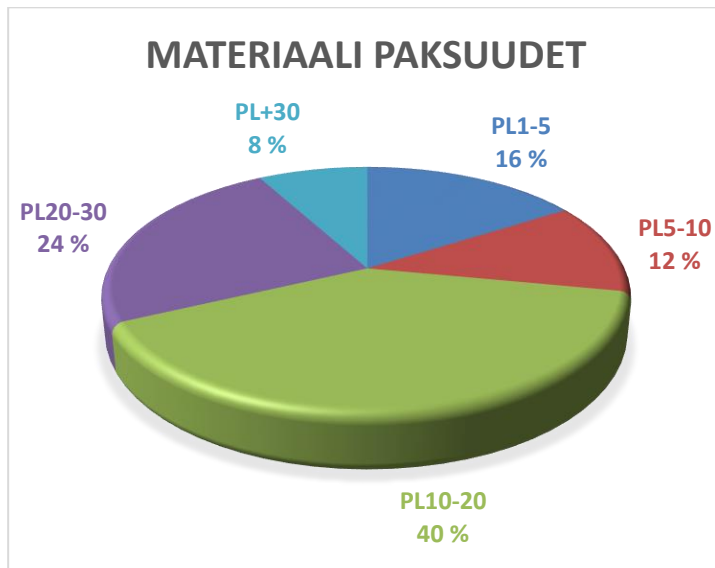


Kaavio 5. Leikkauspinta-ala vs. levyn/ruodon pinta-ala ennen muutosta.

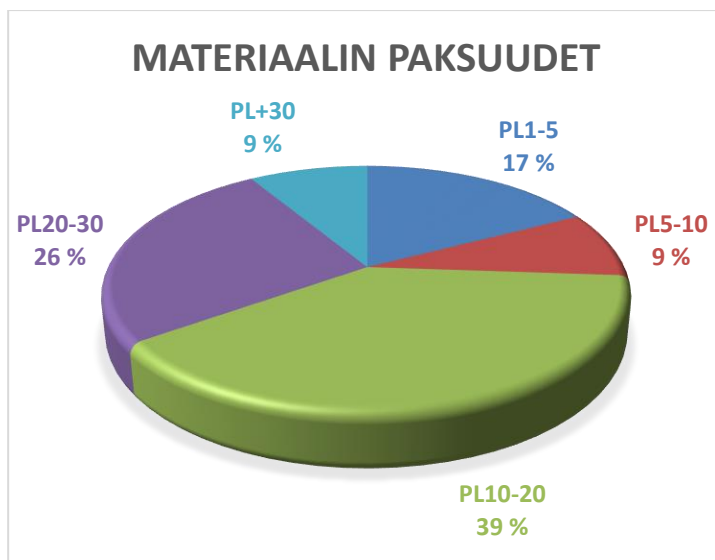


Kaavio 6. Leikkauspinta-ala vs. levyn/ruodon pinta-ala muutoksen jälkeen.

Seuraavaksi tarkastelen materiaalipaksuuksien vaikutusta työmääräisen virtaavuuteen tarkasteluajanjaksolla. Kaavioista 7 ja 8 huomaa, kuinka materiaalipaksuudet ovat olleet hyvin samanlaiset ennen ja jälkeen muutoksen. Tästä syystä voi päätellä, että materiaalipaksuudella (PL) ei ole merkitystä työmääräimen virtaavuuden kannalta.



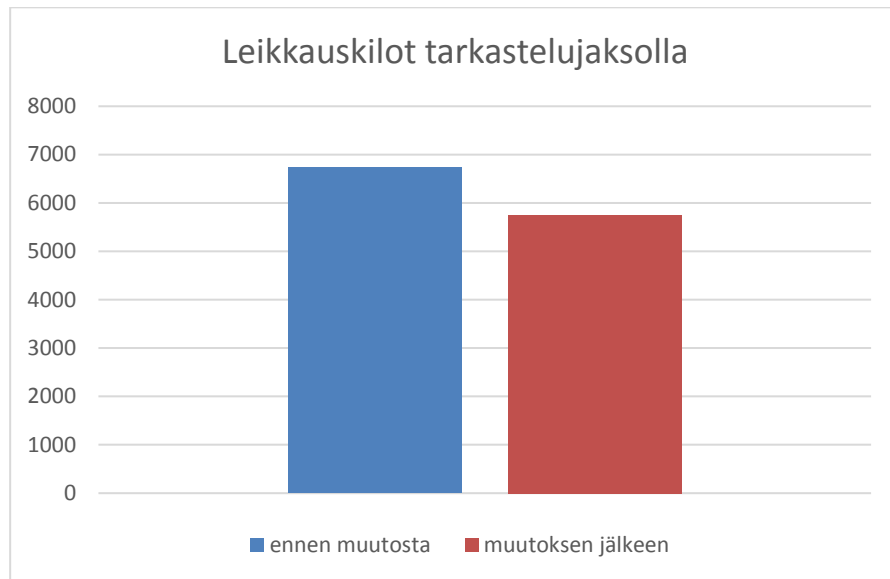
Kaavio 7. Materiaalin paksuudet ennen muutosta.



Kaavio 8. Materiaalin paksuudet muutoksen jälkeen.

Ainostaan hyvin paksujen materiaalien (+70 mm) leikkaaminen vaikuttaa työmääräimen virtaavuuteen. Tämän paksuusluokan materiaalien vähäisen menekin takia, voimme sulkea pois niiden vaikutukset kokonaistulokseen.

Seuraavaksi tarkastelen leikattujen kilojen määrää tarkastelujaksolla (Kaavio 9.) Kuviosta voi havaita leikkauskilojen olleen tutkimuksen tarkastelujaksolla lähestulkoon samansuuruiset. Tämän pohjalta voin pitää tutkimuksen tuloksia vertailukelpoisina keskenään.

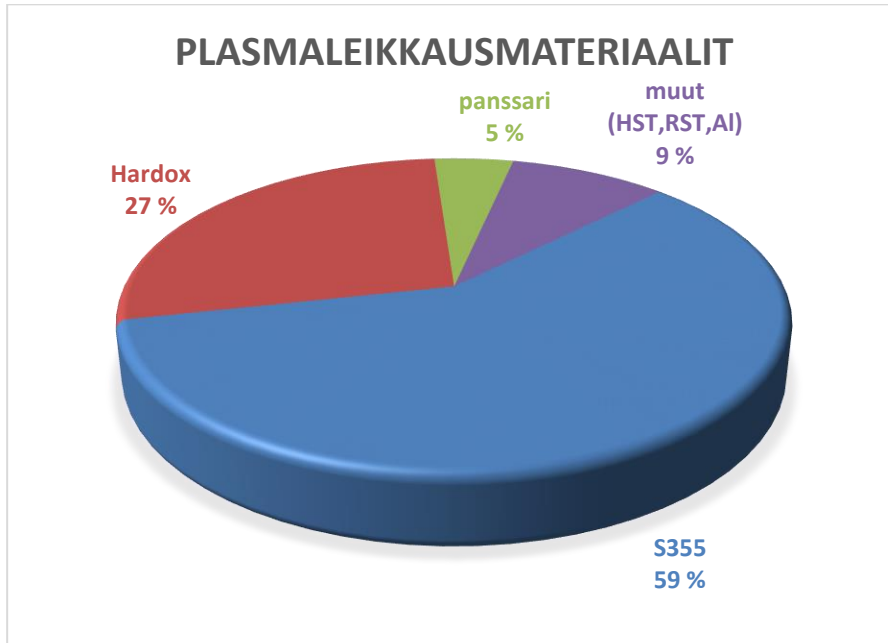


Kaavio 9. Leikkauskilot tarkastelujaksolla.

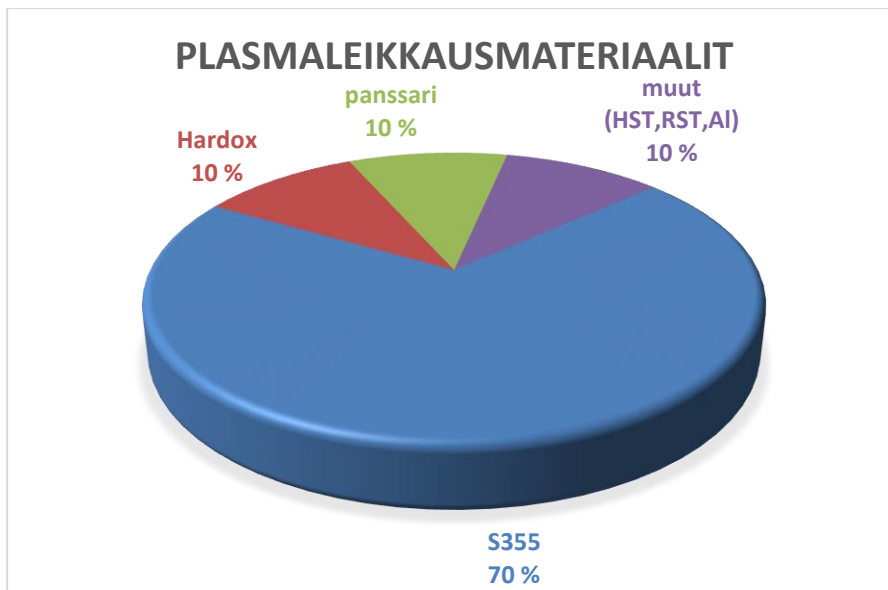
Viimeinen tarkasteltava asia työmääräimen virtaavuuden kannalta, katsomme, onko materiaalilaaduilla merkitystä. Kaaviot 10 ja 11 esittävät leikattujen materiaalien suhdetta tarkastelujaksolla. S355 (rakenneteräs) ja Hardox (kulutusteräs) ovat olleet molemmissa tarkastelujaksoissa vallitseva leikkausmateriaali (86 % ja 80 %), muiden materiaalilaatujen vaihdellessa. Rakenne- ja kulutusteräksen leikkaus eivät juuri eroa toisistaan. Molemmat leikataan veden alla, jotta leikkauskohdan materiaalimuutokset olisivat mahdollisimman vähäiset. Myös sama työkalu polttimesta käy molempien materiaalien leikkaukseen paksuuden ollessa sama. Leikattavan materiaalin laatu vaikuttaa ainoastaan leikkauksessa käytettäviin kaasuihin. S355 ja hardox leikataan yleisimmin paineilma/happi yhdistelmällä, jotka molemmat ovat edullisia käyttöä.

Leikattavista materiaali laaduista ainoastaan austeniittisillä (RST/HST) teräksillä oli vaikutusta työmääräimen virtaavuuteen, koska niiden leikkaamiseen tarvitaan seoskaasua H35 tai tyyppiä. Austeniittisten terästen leikkauspinnan laadun saaminen hyväksi vaatii aina ylimääräistä työtä poltintyökalussa. Hienosäätämällä perusasetuksia voimme vaikuttaa lopulliseen leikkauspinnan laatuun.

Austeniittisten teräksien (RST & HST) sekä alumiinin mukaan lukien leikkausmäärät suhteessa niukkahiiliteräkseen (S355) ja kulutusteräkseen ovat pienet. Yrityksessä tämä on tiedostettu asia, jonka takia toimitusajat näille tuotteille ovat paljon pidemmät. Näiden materiaali laatujen leikkaaminen on liiketoiminnan kannalta toissijaisia. Pyrimme kokoamaan ne isommiksi keräilyiksi, jotta saamme levyt tehokkaampaan käyttöön.



Kaavio 10. Materiaalilaadut ennen muutosta.



Kaavio 11. Materiaalilaadut muutoksen jälkeen.

7 Johtopäätökset

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia ja kehittää työmääräimen virtaavuutta plasmaleikkausprosessissa Lean-ajattelun ja sen 5S-työkalun avulla. Tutkimustyössä kartoitin työmääräimen eri prosessivaiheet plasmaleikkauksessa sekä sain selville pullonkaulat, joihin tehtiin parannuksia Kaizen-menetelmän avulla. Lisäksi työstä saaduilla tuloksilla pystyimme selvittämään, mitä kannattaa jatkossa muuttaa ja miten jatkaa toimintojen jatkuvaa kehittämistä. Syntyneistä tuloksista merkitsevin mittari virtaavuuden kannalta oli, työmääräimen kokonaisläpimenoaika leikkauksessa.

Saimme työllä hyvää kokemusta, mitä kaikkea Lean-ajattelumallin jalkauttaminen vaatii pk-yritykseen, niin työnjohdon kuin työntekijöiden kannalta. Molempien osapuolinen täytyy sitoutua muutoksen tekemiseen, valmista suoraa toimintamallia muutoksen toteuttamiseen Lean ei tarjoa. Se antaa vain työkalut, joilla muutoksen voi tehdä ja niiden käyttöä täytyy muokata omaan yritykseen sopivaksi.

Yrityksemme käyttöön päädyimme layout-suunnitteluun, jota tukee 5S. Layout-suunnitelman avulla pystyimme hyvin konkretisoimaan käytettävät tilat ja materiaalit. Tämä loi pohjan layoutille. Kun olimme saaneet määritettyä kiinteät toiminnot layouttiin, lähdimme kojeilemaan eri variaatiota toimintojen virtaavuuden parantamiseksi.

Tuloksista on nähtävissä, että plasmaleikkauksen eri prosessit pysyivät melko samanlaisina, riippumatta leikattavan materiaalin laadusta tai paksuudesta, mitkä olivat tarkastelujakson aikana hyvinkin samalaiset. Suurin muutos tapahtui, työmääräimen läpimenoajassa (virtaavuudessa), mikä oli tämän tutkimuksen päämäärä. Työmääräimen virtaavuuden avulla, pystymme paremmin suunnittelemaan tuotannon ohjausta. Tämän tiedon avulla pysymme paremmin selvillä, milloin saamme leikkeitä jatkojalostukseen. Vaikka muutokset ajoissa olivat pieniä, kahden minuutin muutos yhden työmääräimen läpimenoajassa. Kun asiaa tarkastellaan kalenterivuoden jaksolle (leikkaamo käsittelee n. 1000 kpl työmääräintä vuodessa), kuinka pienistäkin ajankäytön viilauksista syntyy merkittäviä muutoksia.

Lähtötilanteessa yhden-kahden työpäivää kestäneiden työmääräimien osuus kokonaistuloksesta oli 53 %. Eli puolet tehdyistä työmääräimistä valmistui kahden työpäivän sisään. Muutoksen jälkeen työmääräimistä valmistui kahden työpäivän sisään 73 %. Muutos on näin ollen 20 %, jota voimme pitää merkittävänä. Vaikka itse materiaalin käsittelyajat eivät

muuttuneet juurikaan suuntaan tai toiseen, on toimiva tuotanto virtaavuuden kannalta kriittisin tekijä. Lähtökohtaisesti toiminta oli jo resurssitehokasta, mutta pystyimme tehostamaan toimintaa huomattavasti. Uskon, että tekemistä voi tehostaa vielä hyvinkin paljon. Leanin mallin mukainen siirtyminen tehokkuussaareketoiminnasta ihannemaatoimintaa on mahdollista.

Työmääräimen läpimenoajan muutos oli suuri, vaikka itse fyysinen muutos tuotannossa oli mielestäni pieni. Tämän takia saimme todisteita, etteivät muutokset välttämättä tarvitse olla isoja, että muutos tulee huomattua. Tämän projektin tiimoilta saimme Lean-ajattelua ja 5S-toimintoa jalkautettua yrityksen työntekijöiden ja johdon tietoisuuteen. Tätä on tarkoitus tulevaisuudessa jalostaa myös muihin tuotannon osastoihin (kokoonpano, hitsaus, pintakäsittely). Muiden osastojen kohdalla tarkastelujakson aikaa täytyy pidentää, jotta saamme hajonnasta johtuvat virheet minimoitua tuloksista.

Toinen suurin muutos projektin tiimoilta oli plasmaleikkaushallin yleisenjärjestyksen parantuminen, joka oli työntekijöiden mielestä oleellisimpi muutos. Tämä myös vaikuttaa virtaavuuteen leikkaamossa, koska parantuneet työskentelyolosuhteet kohottavat motivaatiota tehdä töitä. Myös uusien parannusideoiden mahdollisuudet kasvavat (Leanin jatkuvan parantamisen ajattelumalli saadaan vietyä työntekijöiden ajattelutapaan ja toimintaan).

Lähteet

Kirjat:

Modic N., Åhlström P. (2018). Tätä on Lean. Halmstad: Bulls Graphics Ab.

Torkkola S. (2015). Lean asiantuntijan työjohtamisessa. Alma Talent Oy

Liker J. (2004) Toyotan tapaan. Jyväskylä: Gummerus Kirjapiano Oy 2006

Duffy. G. (2013). Modular Kaizen: Continuous and Breakthrough Improvement, ASQ Quality Press, 2013. ProQuest Ebook

Ihalainen E., Aaltonen K., Aromäki M. & Sihvonen P. (2003). Valmistustekniikka. Helsinki: Hakapaino Oy

Karttunen H. (2004). Tiedettä kaikille Fysiikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapiano Oy

Internet-lähde:

Sixsigma. (2020). Haettu 4.5.2020. <http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/lean/>

Kinnunen S. (2019). 5S-ensimmäinen askel stabilointiin. Haettu 18.1.2019 https://devmoodle.kamit.fi/pluginfile.php/112502/mod_folder/content/0/5S_lyhyt.pptx?forcedownload=1

Hypertherm. (2020). Haettu 14.2.2020. <https://www.hypertherm.com/learn/cutting-education/plasma-technology/types-of-plasma/>

Lincolnelectric. (2020). haettu 12.1.2020 <https://www.lincolnelectric.com/en-us/equipment/plasma-cutters/process-and-theory/Pages/how-a-plasma-cutter-works.aspx>

Walsh M. (2005). Plasma cutting: Then and Now. Haettu 25.1.2020. <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/plasmacutting/plasma-cutting-then-and-now>

Taulukko 1. Haettu: 15.1.2020. <https://static.canadianmetalworking.com/a/choosing-the-right-shielding-for-the-best-plasma-cut-primary-shielding-gas-combinations.jpg>

Kuvat:

Kuva 6. Haettu 6.12.2019. <https://de.dreamstime.com/stock-abbildung-aggregatzustandk%C3%B6rper-fl%C3%BCssigkeit-gas-und-plasma-image89062831>

Kuva 7. Haettu 4.5.2020. <https://previews.123rf.com/images/oorka/oorka1701/oorka170100090/71123313-3d-render-of-atom-structure-of-nitrogen-isolated-over-white-background-protons-are-represented-as-re.jpg>

Kuva 10. Hypertherm. XPR300-manuaali. Haettu 9.4.2020 https://www.teknohaus.fi/images/pdf/BR_897060FIr0_XPR300edit.pdf

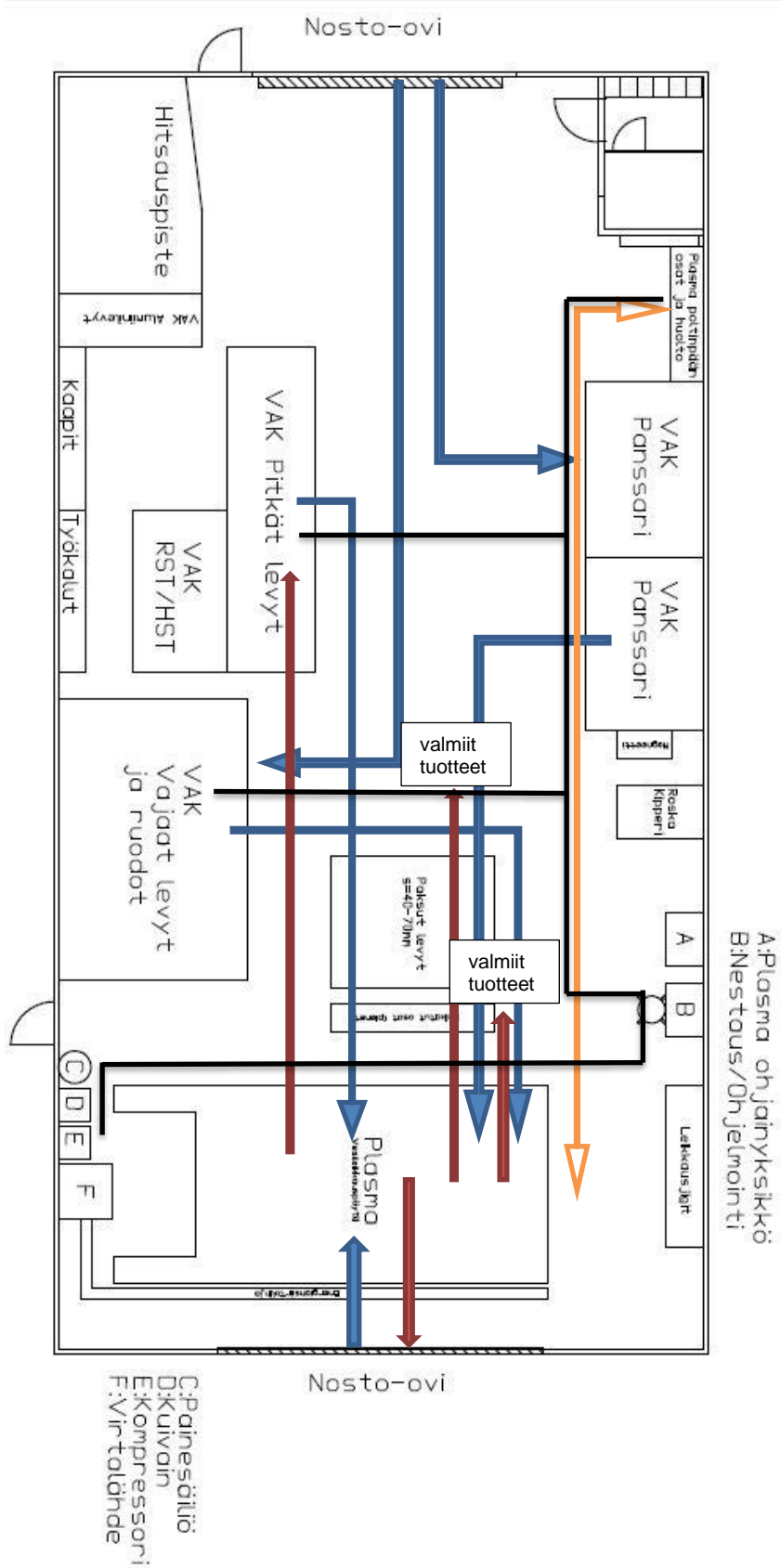
kuva 14. haettu 12.1.2020 <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/cutting-processes-plasma-arc-cutting-process-and-equipment-considerations-051>

kuva 15. Hypertherm. HPR130XD-manuaali. haettu 15.1.2020 <https://www.hypertherm.com/Download?fileId=HYP104257&zip=False>

Kalvoesitys:

Moisanen K. (2018). Strategisen johtamisen peruskäsitteet. Haettu 9.2.2020 <https://devmoodle.kamit.fi/mod/resource/view.php?id=8370>

Liite 1. Leikkaamon lähtötilanne layout.



Liite 2. Leikkaamon muutettu layout.

